

PCT

WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION
International Bureau



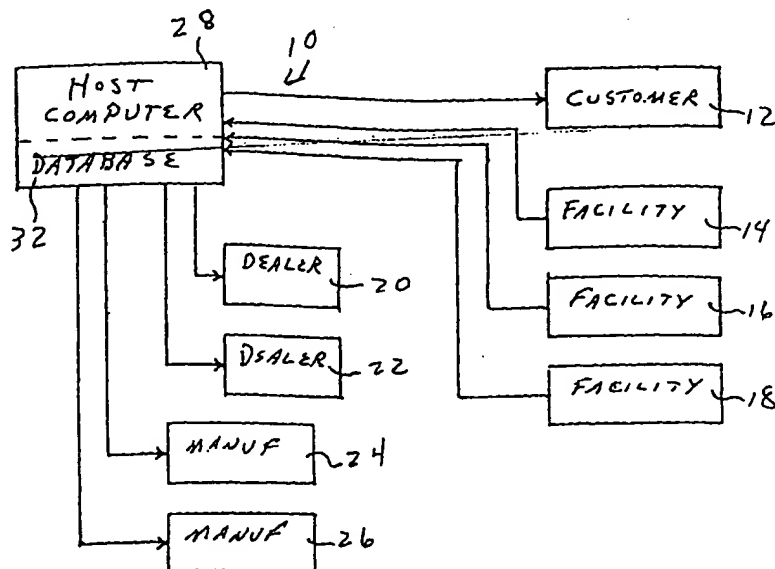
INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(51) International Patent Classification 7 : G06F 17/40, G06M 7/04	A1	(11) International Publication Number: WO 00/51038 (43) International Publication Date: 31 August 2000 (31.08.00)
(21) International Application Number: PCT/US00/04192 (22) International Filing Date: 17 February 2000 (17.02.00) (30) Priority Data: 09/255,260 22 February 1999 (22.02.99) US 09/504,758 14 February 2000 (14.02.00) US (71) Applicant: VIENET, LLC [US/US]; 25701 East Milton-Thompson Road, Lee's Summit, MO 64086 (US). (72) Inventor: GOURLEY, Robert, Joseph; 25701 East Milton-Thompson Road, Lee's Summit, MO 64086 (US). (74) Agent: LUEBBERING, Thomas, B.; Hovey, Williams, Timmons & Collins, Suite 400, 2405 Grand Boulevard, Kansas City, MO 64108 (US).		(81) Designated States: AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZW, ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG). Published <i>With international search report. Before the expiration of the time limit for amending the claims and to be republished in the event of the receipt of amendments.</i>

(54) Title: DISTRIBUTION MANAGEMENT AND INVENTORY CONTROL SYSTEM

(57) Abstract

A host computer (28) receives inventory data from a plurality of receiving computers (34) or other data collection devices (30) located at the respective facilities (14, 16 and 18) of a customer or other party in the distribution chain. Each facility includes a storage area (40) with inventory items stored therein for use by the facility. A bar code reader (36) is used to read the bar code (44) from each item added to, removed from, returned to, or remaining in the storage area (40) and to provide corresponding item identification data to the receiving computer (34). Host computer (28) receives the item identification data from all of the receiving computers (34) of the



facilities and provides a consolidated invoice for all of the facilities. If the facilities (14, 16 and 18) are served by different dealers, the host computer (28) is also operable to convert the item identification data to dealer-specific data including the respective dealer codes for the items for replenishing the inventory at each storage area (40). The host computer (28) is also operable to sort the item identification data by manufacturer and to provide corresponding data to specific manufacturers for production planning. The host computer (28) is also operable to prepare a variety of other reports for each party, including but not limited to material safety reports, environmental reports, job cost reports, and marketing reports.

FOR THE PURPOSES OF INFORMATION ONLY

Codes used to identify States party to the PCT on the front pages of pamphlets publishing international applications under the PCT.

AL	Albania	ES	Spain	LS	Lesotho	SI	Slovenia
AM	Armenia	FI	Finland	LT	Lithuania	SK	Slovakia
AT	Austria	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Senegal
AU	Australia	GA	Gabon	LV	Latvia	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaijan	GB	United Kingdom	MC	Monaco	TD	Chad
BA	Bosnia and Herzegovina	GE	Georgia	MD	Republic of Moldova	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tajikistan
BE	Belgium	GN	Guinea	MK	The former Yugoslav Republic of Macedonia	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Greece	ML	Mali	TR	Turkey
BG	Bulgaria	HU	Hungary	MN	Mongolia	TT	Trinidad and Tobago
BJ	Benin	IE	Ireland	MR	Mauritania	UA	Ukraine
BR	Brazil	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Iceland	MX	Mexico	US	United States of America
CA	Canada	IT	Italy	NE	Niger	UZ	Uzbekistan
CF	Central African Republic	JP	Japan	NL	Netherlands	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norway	YU	Yugoslavia
CH	Switzerland	KG	Kyrgyzstan	NZ	New Zealand	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Democratic People's Republic of Korea	PL	Poland		
CM	Cameroon	KR	Republic of Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kazakhstan	RO	Romania		
CU	Cuba	LC	Saint Lucia	RU	Russian Federation		
CZ	Czech Republic	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Germany	LK	Sri Lanka	SE	Sweden		
DK	Denmark	LR	Liberia	SG	Singapore		
EE	Estonia						

-1-

DISTRIBUTION MANAGEMENT AND INVENTORY CONTROL SYSTEM

5

10

15

BACKGROUND OF THE INVENTION

20

1. FIELD OF THE INVENTION

The present invention relates to the field of inventory control. In particular, the invention is concerned with a distribution management and inventory control system that receives inventory data from a plurality of dealer and customer facilities and processes the data for use in consolidated invoicing and replenishment of inventory at each facility.

25

2. DESCRIPTION OF THE PRIOR ART

In some industries, such as the printing industry, it is customary for a facility of a customer to include a storeroom of inventory items owned by various dealers. The customer removes inventory items from the storeroom as needed for use. Periodically each dealer takes an inventory count, replenishes its used inventory items and invoices the customer for inventory items removed from the storeroom.

30

35

As will be appreciated, this prior art system of inventory control can lead to a number of problems. Inventory items may be depleted before scheduled replenishment which can shut down production or require emergency replenishment by a dealer. This prior art system also results in

-2-

many invoices being generated by the various dealers to the customer. Another problem is that the manufacturers of the inventory items do not receive any lead time for efficient production planning in order to supply the needed inventory items.

5 Another problem is that some inventory items require the generation of specialized reports such as product safety data reports and environmental impact reports. The prior art system basically requires separate or non-consolidated generation of the needed data for the reports and the time-consuming preparation of each individual report.

10

SUMMARY OF THE INVENTION

The present invention solves the prior art problems mentioned above and provides a distinct advance in the state of the art. More particularly, the distribution management and inventory control system hereof enables the
15 consolidation of inventory usage on a timely basis from a plurality of customer and dealer facilities for consolidated billing, the timely replenishment of the inventory before depletion and the provision of adequate lead time to the manufacturers and dealers of the inventory items. In addition, the system of the invention provides for automatic generation of needed reports.

20 The preferred distribution management and inventory control system includes a host computer that receives inventory data from a plurality of receiving computers located at the respective facilities of a customer, dealer and manufacturer. Each facility includes a storage area such as a storeroom, locker, bin, truck trailer, or even a directory or file in a computer-readable
25 storage device for electronic records. The storage area has inventory items such as consignment items of any party in a manufacturing and distribution channel such as a manufacturer, distributor, or dealer stored therein for use by the facility. In the preferred embodiment, a bar code reader is used to read the bar code from each item removed from the storage area and to provide
30 corresponding item identification data to the receiving computer. The host computer receives the item identification data from all of the receiving computers of the facilities and provides the capability to produce consolidated invoices and reports for all of the facilities of each party in the distribution channel.

35 If the facilities are served by different dealers, the host computer is also operable to convert the item identification data to dealer-specific data including the respective dealer codes for the items for replenishing the

-3-

inventory at each storage area. The host computer is also operable to sort the item identification data by manufacturer and to provide corresponding data to specific manufacturers for production planning. Additionally, the host computer uses the item identification data to generate needed reports such as product safety data reports and environmental impact reports. The host computer can also generate a variety of other reports, such as use reports by type of products, price levels, and other item characteristics. The preferred aspects of the present invention are disclosed herein.

The inventory control scheme of the present invention is not a proprietary-based model that can only be accessed by one group of organizations in one supply chain. Instead, the host computer may be used by several different groups of organizations in several supply chains.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

Figure 1 is a block diagram illustrating the preferred distribution management inventory control apparatus in accordance with the present invention; and

Fig. 2 is a block diagram illustrating a facility that could be located on site at the customer, the dealer, or the manufacturer of Fig. 1.

DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENT

The drawing figures illustrate preferred distribution management and inventory control apparatus 10 in accordance with the present invention. Fig. 1 shows apparatus 10 in use with a plurality of customers such as customer 12 having a plurality of facilities such as facilities 14, 16 and 18, and also with a plurality of dealers such as dealers 20 and 22 and a plurality of manufacturers such as manufacturers 24 and 26. Apparatus 10 includes host computer 28 and inventory data collection equipment located at each facility such as equipment 30 illustrated in Fig. 2.

Host computer 28 preferably includes a conventional network server computer operable to receive and transmit data over telephone lines and operable to store needed data in database 32. Computer 28 also includes a financial computer coupled with the server computer and operable to access database 32 to perform financial functions such as producing invoices, financial statements and the like. Additionally, computer 28 is under program control to perform the operational functions described further herein. The preferred

-4-

program includes a conventional database manager such as Microsoft ACCESS or Microsoft SQL Server.

5 In the preferred embodiment, host computer 28 is operable to communicate by way of the internet or by way of any other conventional communication medium using conventional telephone lines with equipment 30 of facilities 14-18, and is also operable to communicate with computers at a central office of customer 12, dealers 20-22 and manufacturers 24-26. It will also be appreciated that communications could also be provided by way of direct dial instead of using the internet, by cellular telephone, satellite and a wide variety of other communication modes.

10 The host computer 28 preferably operates under a subscription-based hosted application model, commonly referred to as an Application Service Provider (ASP) or Commerce Service Provider (CSP). In this way, the inventory control scheme of the present invention is not a proprietary-based model that can only be accessed by one group of organizations in one supply chain. Instead, the host computer may be used by several different groups of organizations in several supply chains. Authorized users can participate in the inventory tracking and control functionalities of the present invention at any time from anywhere by simply accessing the host computer with a standard internet browser and then gaining access to certain information applicable to the users. By adopting a hosted application model, improvements in software features can be rapidly deployed to all users. Moreover, each group of users that wishes to implement the inventory control schemes of the present invention does not have to make investments for installing, hosting, and maintaining the host computer and the software applications thereon.

20 Referring to Fig. 2, equipment 30 is located at each facility 14-18 and includes personal computer (PC) 34, bar code reader 36 coupled with PC 34, and identification (ID) card reader 38 also coupled with PC 34. Bar code reader 36 and PC 34 are located in the storage area 40 on the site of the facility, and the ID card reader 38 is positioned outside the storage area adjacent door 42 in order to control electrically the lock thereof in the conventional manner. This allows access to storage area 40 only by authorized personnel and each entry is logged in PC 34 as identification data representative of the person entering storage area 40.

35 The central concept is that the host computer 28 receives frequent reports of which item was added to, removed from, returned to, or remaining in, which storage area, by whom, on which date. If any site provides

additional data, the system can generate additional reports. For example, if job code data is sent, the system can generate job cost data.

The host computer 28 provides a virtual "Supply Chain Network" that permits all organizations in a supply chain to manage and/or view inventory data, whether the inventory is located in a location under their control or in a location under another supply chain organization's control. Thus, all organizations in a supply chain, including manufacturers, distributors, and end users, may all participate in inventory control and management using one network and may share information on a need-to-know basis.

The database or databases operated by the host computer 28 are preferably filtered or segmented so that particular organizations in a supply chain can only get access to and view certain information relative to them. For example, a national customer may be permitted to access and view all inventory records for all of their plants across the country. Distributors for the national customer may also be permitted to access the host computer via the internet, but may be given access only to their own inventory and inventory that they have supplied to the customer. Similarly, a manufacturer may be permitted to access the host computer and view information relating to the products it has supplied to the customer through various distributors. This permits the manufacturer to instantaneously check inventory trends to enhance the manufacturer's production planning.

Hierarchical database filtering techniques are implemented via the host computer 28 to present users only with the information that they are entitled to view. Once a user has accessed and logged onto the host computer, the user can view all inventory records to which it has access.

Although the preferred embodiment is to use key card access to the storage area, bar code scanner input of the item identified, and computer transmission of the data via the Internet, some or all of these steps could be performed manually. For instance, each person adding or removing an item could fill out lines on a paper form kept on a clipboard, and a separate person could fax the filled out report or phone in the results at a specified time, such as once each day. While manual performance of the steps is possible, the automation described offers numerous advantages as described herein.

In the example of Fig. 1, customer 12 has a plurality of production facilities in various locations illustrated by facilities 14-18. Even though only one customer is illustrated the present invention encompasses the ability to provide inventory control services to a plurality of customers as well. Also as

-6-

illustrated, dealer 20 provides the distribution services for inventory items to facility 14, and dealer 22 supplies the needed inventory items to facilities 16 and 18. The dealers 20 and 22 may also provide distribution services for inventory items to one another. Dealers 20 and 22, and manufacturers 24 and 26, could also have storage areas like that in Fig. 2.

Fig. 1 also illustrates manufacturers 24 and 26 who manufacture certain ones of the inventory items used by facilities 14-18. It is common for customer 12 to have a national account for all of its facilities with various manufacturers illustrated by manufacturers 24 and 26. The dealers distribute the needed inventory items from a variety of manufacturers to a customer's facility.

One of the principal advantages of the system is that it enables either a manufacturer or a customer to more easily work with multiple distributors or dealers. For instance, a national customer that purchased a local facility with a close relationship with a local dealer would ordinarily require that facility to start using the customer's national distributor in order to more easily get consolidated reports and invoices. If both the national distributor and the local dealer use this system, the national customer can allow the local facility to continue using the local dealer, but still easily get its consolidated reports and invoices.

Thanks to this system, the dealer does not lose the local customer and can easily function as a local arm of the national distributor. Indeed, the system contemplates a variety of services that the local dealer may or may not perform when acting as such a local arm.

In the operation of apparatus 10, ID card reader 38 reads the ID card of a person authorized to enter storage area 40 and supplies identification data representative thereof to PC 34. PC 34 stores and time stamps all attempted entries, whether authorized or not as a security record. If there is a match to a list of authorized persons, PC 34 activates the latch on door 42 to release and allow entry. The person enters storage area 40 and gathers the needed inventory items. Typically the inventory items removed from storage area 40 are used for immediate production and thereby represent current usage.

Before leaving storage area 40, the person uses bar code reader 36 to scan the bar code on each inventory item such as bar code 44 on inventory item 46. In response to the scan, bar code reader 36 provides item identification data representative of the bar code and thereby representative of

-7-

the inventory item to PC 34 where this data is stored. As will be appreciated, the bar code on each inventory item is typically the UPC code printed thereon by the manufacturer. The present invention also encompasses the ability to read other machine-readable indicia such as alphanumeric text and magnetic ink.

On a periodic basis, such as each night, PC 34 accesses host computer 28 by way of the internet or any other communication medium. In the alternative, host computer 28 polls PC 34 in each facility. Upon establishing communications with host computer 28, PC 34 transmits all of its inventory data since the last transmission. The inventory data includes the item identification data along with the data identifying each person entering storage area 40. This process is repeated for each facility for 14-18 and for each customer, dealer, and manufacturer served by apparatus 10. Host computer 28 stores the inventory data received from facilities 14-18 in database 32. On a periodic basis, such a monthly, host computer 28 consolidates the inventory data from facilities 14-18 for customer 12 and generates consolidated invoices and reports.

The bar code information as well as other inventory data may be transmitted directly to the host computer 28 from the PC 34 via the internet rather than being stored on the PC. This permits the host computer to validate the information and respond to an operator if additional information is needed.

The host computer 28 may also automatically generate invoices immediately upon the close of a certain time period. The invoices may be e-mailed to a customer or other entity, or the customer may access the host computer via the internet and view and download invoices when desired.

Database 32 includes information indicating which dealer supplied the inventory items to facilities 14-18. Upon receipt of payment from customer 12, the receipts are distributed to dealers 20-22 in accordance with the inventory items supplied by each to the facilities of customer 12. This process is repeated for all of the customers served by apparatus 10. The same process can be used to generate invoices from one dealer to its sub-dealer or from one manufacturer to its dealers.

As will be appreciated, dealers may use product codes different from the UPC codes placed on the inventory items by the respective manufacturers. In order to supply dealers 20-22 with data in a useful format, host computer 28 uses lookup tables stored in database 32 to convert the item identification data in terms of the UPC indicia code to item identification data

-8-

as the respective dealer code. More particularly, database 32 stores a lookup table for each dealer with the entries corresponding to UPC code and the equivalent dealer code. In this way, the reconciliation of payments from customer 12 can be expressed in terms of dealer code for each dealer.

5 Apparatus 10 also provides communications by way of the internet or other communication medium between host computer 28 and each dealer 20-22. These communications can include the inventory usage for each facility 14-18 expressed in terms of the respective dealer codes. With this capability, host computer 28 can provide each dealer with usage data for the
10 facilities it supplies as frequently as needed. For example, host computer 28 can provide a daily summary of the usage of each inventory item. This summary can further include the remaining number of inventory items in the respective storage areas and can highlight those items likely to need replenishment before the next scheduled delivery. In the alternative, each
15 dealer 20-22 has the capability of requesting this usage data from host computer 28.

 The host computer 28 may also generate and automatically send e-mail notifications to the dealers or other entities upon the occurrence of certain events. For example, if inventory is removed from a storage area or if
20 the inventory in a storage area reaches a predetermined level, the host computer 28 may automatically send an e-mail notification to a dealer of the inventory and even the manufacturer of the inventory so that the inventory can be quickly replenished.

 With the availability of this usage information, the dealer can
25 replenish needed inventory items before an outage occurs thereby providing a higher level of service to customer 12. Moreover, this information presents an itemized list of exactly what items and in what quantities are needed to replenish the inventory of each facility on a given day. This allows the dealer to load and supply the inventory items as needed to replenish the inventory to
30 the specified levels.

 Host computer 28 also sorts the inventory data for each customer by manufacturer. In particular, computer 28 identifies those inventory items used by facilities of customer 12 that are associated with specific manufacturers such as manufacturers 24 and 26. This manufacturer-specific
35 usage data is then made available to each manufacturer. For example, computer 28 can provide a weekly usage and on-hand or available stock report to manufacturers 24 and 26. This information can be used by each

manufacturer to plan production and shipment in advance of receiving specific purchase orders from dealers 20 and 22. In this way the needs of customer 12 can be anticipated thereby providing a higher level of service and efficiency. Such may enable manufacturers 24, 26 to offer a more favorable pricing structure.

Some inventory items may require the production of certain reports. For example, printing facilities use certain chemicals that may present a potential safety hazard. As such, each facility is required to have on site a material safety data sheet. In the present invention, host computer 28 stores the information to produce product safety data sheets for each inventory item tracked in database 32. Host computer 28 also tracks the inventory items used by each facility and can download the information for printing such data sheets to each facility. Such can occur automatically whenever a facility uses a new inventory item.

An example of another required report is a environmental impact report such as Kansas SARA Title III report. Such reports are based on usage for each facility and host computer 28 includes the needed information in database 32 for automatically producing such reports as needed for each facility.

It will also be appreciated that the information stored in database 32 enables the production of a wide variety of reports. These can include usage reports to the customers, the dealers and the manufacturers covering specified time frames ranging from daily to annually. The usage reports can be specific as to inventory item, types, or prices of inventory items, dealer, manufacturer and customer as desired.

All parties in a distribution channel can use the same distribution management and inventory control system described herein. For example, manufacturers or dealers may use the same monitoring system at their facilities as do the end user customers.

Those skilled in the art will appreciate that the present invention encompasses many variations in the preferred embodiment described herein. Having thus described this embodiment, the following is claimed as new and desired to be secured by Letters Patent:

-10-

CLAIMS:

1. A distribution management and inventory tracking method for tracking usage of inventory items stored in a storage area, said method comprising:
- 5 (a) receiving, into a receiving computer, item identification data representative of an inventory item of the storage area;
- (b) electronically transmitting inventory data including said item identification data from said receiving computer to a host computer; and
- 10 (c) tracking said inventory item in said host computer using said inventory data.
2. The method of claim 1, said inventory item including machine-readable, item identification indicia thereon, step (a) including the step of reading said indicia with an indicia reader coupled with said receiving computer, producing therefrom said item identification data, and providing said item identification data to said receiving computer.
- 15 3. The method of claim 2, said indicia including optically readable indicia, step (a) including the step of reading said indicia with an optical reader as said indicia reader.
- 20 4. The method of claim 3, said indicia including a bar code, step (a) including the step of reading said indicia with a bar code reader as said indicia reader.
- 25 5. The method of claim 1, step (a) further including the step of receiving user identification data into said receiving computer representative of the identification of a person entering the storage area.
- 30 6. The method of claim 5, step (b) including the step of electronically transmitting said user identification data to said host computer.
- 35 7. The method of claim 1 further including the step of repeating steps (a)-(c) for a plurality of inventory items.

-11-

8. The method of claim 1 further including the step of repeating steps (a)-(c) for a plurality of facilities of the customer.

5 9. The method of claim 8 further including the step of repeating steps (a)-(c) for a plurality of inventory items.

10 10. The method of claim 9 further including the step of, in said host computer, consolidating said item identification data for all of the inventory items from all of the facilities of a party as consolidated inventory data.

11. The method of claim 10 further including the step of providing a consolidated invoice to the party for inventory items corresponding to said consolidated inventory data.

15 12. The method of claim 9, there being a plurality of dealers associated with different ones of the facilities for supplying the inventory items thereto, said method further including the step, in said host computer, of sorting said inventory data by dealer to produce dealer-specific data for each dealer and providing said dealer-specific data thereto.

20 13. The method of claim 12 further including the step of, in said host computer, consolidating said item identification data for all of the inventory items from all of the facilities of the customer for all of the dealers as consolidated inventory data and providing a consolidated invoice to the
25 customer for inventory items corresponding to said consolidated inventory data.

14. The method of claim 13 further including the step of the dealers replenishing inventory items in the storage areas of respective facilities in response to said dealer-specific data.

30 15. The method of claim 12, said item identification data being in an indicia code corresponding to respective indicia on the inventory items, the dealers having item identification data corresponding to the inventory items in respective dealer codes, said method including the step of converting said
35 inventory data from said indicia code to item identification data in terms of said respective dealer codes for each of the dealers as part of said dealer-specific data.

-12-

16. The method of claim 15, said converting step including the step of using lookup tables corresponding respectively to the dealers for converting said item identification data.

5 17. The method of claim 9, the inventory items being manufactured by a plurality of manufacturers, said method including the step of extracting from said inventory data manufacturer product data representative of inventory items manufactured by each of the respective the manufacturers and providing said manufacturer product data to each of the corresponding manufacturers.

10 18. The method of claim 17 further including the step of at least one manufacturer producing additional inventory items in response to said manufacturer product data.

15 19. The method of claim 9, there being a requirement for reporting associated with the usage levels of selected ones of the inventory items, said method including the step of deriving from the inventory data the usage levels of said selected ones of the inventory items for each of the facilities and composing reports in prescribed formats corresponding thereto.

20 20. The method of claim 19 further including the step of producing product safety data reports as said reports.

25 21. The method of claim 19 further including the step of producing environmental impact reports as said reports.

30 22. The method of claim 1 including the step of receiving said item identification data into a personal computer as said receiving computer located at the site of the storage area.

-13-

23. The method of claim 1,
step (a) including the step of receiving said item identification data into
a personal computer as said receiving computer located at the
site of the storage area,

5 the inventory items including respective bar codes thereon, step (a)
including the step of reading said bar codes with a bar code
reader, producing therefrom said item identification data, and
providing said item identification data to said receiving computer,
said method further including the step of repeating steps (a)-(c) for a
10 plurality of inventory items for a plurality of storage areas,
there being a plurality of dealers associated with different ones of the
storage areas for supplying the inventory items thereto, said
method further including the steps of sorting said inventory data
by dealer to produce dealer-specific data for each dealer and
15 providing said dealer-specific data thereto, consolidating said
item identification data for all of the inventory items from all of the
storage areas for all of the dealers as consolidated inventory data
and providing a consolidated invoice for inventory items
corresponding to said consolidated inventory, and replenishing
20 inventory items in the storage areas in response to said dealer-
specific data.
the inventory items being manufactured by a plurality of manufacturers,
said method including the step of extracting from said inventory
data manufacturer product data representative of inventory items
25 manufactured by each of the respective manufacturers and
providing said manufacturer product data to each of the
corresponding manufacturers.

24. The method of claim 1, step (b) including the step of transmitting
30 said inventory data over a conventional communication medium.

25. The method of claim 24, step (b) including step of transmitting
said inventory data by way of the internet.

35

-14-

26. A distribution management and inventory tracking apparatus for tracking usage of inventory items stored in a storage area, the inventory items having machine-readable, item identification indicia thereon, said apparatus comprising:

- 5 a receiving computer associated with the storage area,
 an indicia reader coupled with said receiving computer and operable to read the indicia on inventory items in the storage area, to produce therefrom item identification data, and to provide said item identification data to said receiving computer, said receiving
10 computer being operable to transmit electronically inventory data including said item identification data;
 a host computer operable to receive said inventory data from said receiving computer and to process said inventory data in order to track said inventory items.

15

27. The apparatus of claim 26, said indicia including bar codes, said indicia reader including a bar code reader.

20

28. The apparatus of claim 26, said receiving computer including a personal computer located within the storage area.

25

29. The apparatus of claim 26 further including an identification card reader operable to read the identification card of a person entering the storage area, said inventory data including user identification data representative of the identification of the person entering the storage area.

30

30. The apparatus of claim 26, there being a plurality of storage areas and a plurality of inventory items, the host computer being operable to consolidate said item identification data for all of the inventory items from all of the storage areas as consolidated inventory data and to provide said consolidated inventory data to a party operating the storage area.

35

31. The apparatus of claim 30, said host computer being operable to provide a consolidated invoice for inventory items corresponding to said consolidated inventory data.

-15-

32. The apparatus of claim 26, there being a plurality of dealers associated with different ones of the facilities for supplying the inventory items thereto, said host computer being operable to sort said inventory data by dealer to produce dealer-specific data for each dealer and to provide said dealer-specific data thereto.

33. The apparatus of claim 32, said item identification data being in an indicia code corresponding to respective indicia on the inventory items, the dealers having item identification data corresponding to the inventory items in respective dealer codes, said host computer being operable to convert said inventory data from said indicia code to item identification data in terms of said respective dealer codes for each of the dealers as part of said dealer-specific data.

34. The apparatus of claim 33, said host computer being operable to use lookup tables corresponding respectively to the dealers for converting said item identification data.

35. The apparatus of claim 26, the inventory items being manufactured by a plurality of manufacturers, said host computer being operable to extract from said inventory data manufacturer product data representative of inventory items manufactured by each of the respective the manufacturers and to provide said manufacturer product data to each of the corresponding manufacturers.

36. The apparatus of claim 26, there being a requirement for reporting associated with the usage levels of selected ones of the inventory items, said host computer being operable to derive from the inventory data the usage levels of said selected ones of the inventory items for each of the facilities and composing reports in prescribed formats corresponding thereto.

37. The apparatus of claim 36, said reports including product safety data reports and environmental reports.

35

-16-

38. A distribution management and inventory tracking method for tracking usage of inventory items stored in a storage area, said method comprising:

- (a) receiving item identification data representative of an inventory item of the storage area;
- (b) transmitting inventory data including said item identification data to a host computer; and
- (c) tracking said inventory item in said host computer using said inventory data.

1/1

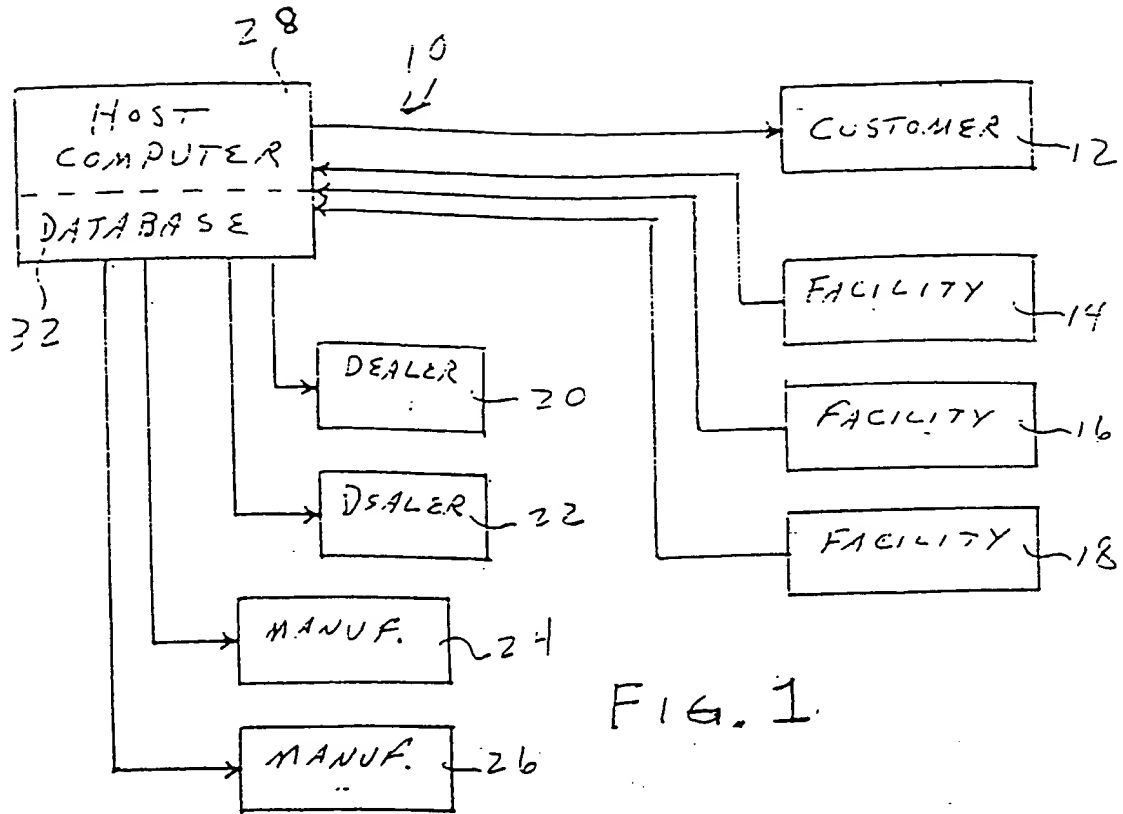


FIG. 1

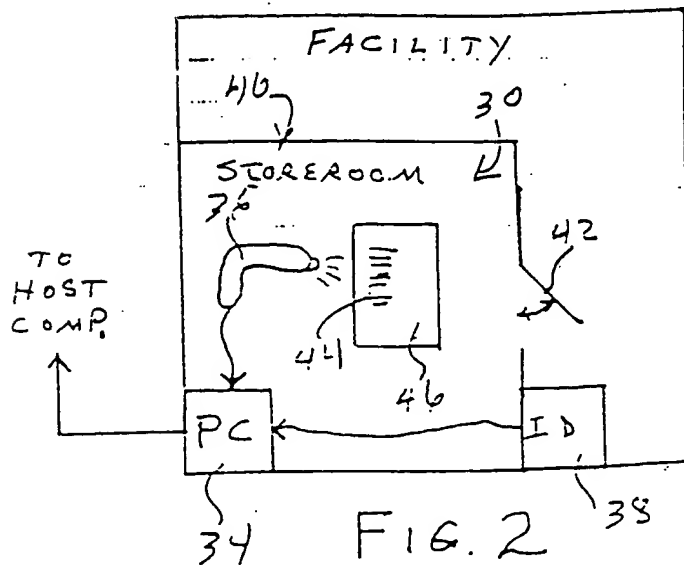


FIG. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US00/04192

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC(7) : G06F 17/40, G06M 7/04 US CL : 705/28, 705/29, 705/10 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 705/28; 705/29; 705/10; 705/8; 705/9; 705/22 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EAST and DIALOG		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	us 5,765,143 A (SHELDON et al) 09 June 1998, FIG. 2, and FIG. 3.	1-38
Y	US 4,336,589 A (SMITH et al) 22 June 1982, FIG. 1, FIG. 2, and FIG. 8.	1-38
Y,P	US 6,026,378 A (ONOZAKI) 15 February 2000, FIG. 2, FIG. 13, FIG. 18, FIG. 21.	1-38
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents:	*T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document published on or after the international filing date *L* document which may contain disclosure in priority claims or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art *G* document member of the same patent family	
Date of the actual completion of the international search 18 JULY 2000		Date of mailing of the international search report 02 AUG 2000
Name and mailing address of the ISA/US Commissioner of Patents and Trademarks Box PCT Washington, D.C. 20231 Facsimile No. (703) 305-3230		Authorized officer JAMES TRAMMELL Telephone No. (703) 305-3066 <i>R. Genio Lopez</i>

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro



INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 6 : G06F 17/60		A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/67729
			(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 29. Dezember 1999 (29.12.99)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP99/04229		(81) Bestimmungsstaaten: AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW, ARIPO Patent (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).	
(22) Internationales Anmeldedatum: 18. Juni 1999 (18.06.99)			
(30) Prioritätsdaten: 60/089,996 19. Juni 1998 (19.06.98) US 09/204,772 3. Dezember 1998 (03.12.98) US			
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SAP AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Intellectual Property Abteilung, z. H. Herrn Dr. Harald Hagedorn, Postfach 14 61, D-69185 Walldorf (DE).			
(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BRAUN, Heinrich [DE/DE]; Seewiesenäckerweg 35, D-76199 Karlsruhe (DE).		Veröffentlicht Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.	
(54) Title: METHOD AND SYSTEM FOR MAXIMISING THE RANGE OF STOCK MANAGEMENT REQUIREMENT PROFILES			
(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND SYSTEM ZUR MAXIMIERUNG DES BEREICHS VON ABDECKUNGSPROFILIEN BEI DER BESTANDSVERWALTUNG			
(57) Abstract			
<p>The invention relates to a method and system for carrying out stock management in a multilevel distribution chain by applying optimisation algorithms to a range profile built on a distribution network formulation and on different elements which are invoiced in the network. The optimisation problem is defined in a formal way and algorithms for maximising stock autonomy by means of requirement profiles are proposed. Said optimisation process allows transport costs to be reduced to a minimum and bottlenecks to be avoided in stocks. But should bottleneck occur, the system allocates priorities according to need and provides an optimum solution for monotonous product distribution. The inventive method comprises the following steps: initialisation of stock autonomy profile with a starting value; calculation of required entries to satisfy profile restrictions; creation of the most cost-effective flow for said needs by means of a minimal autonomy of the requirement profile until a solution is found.</p>		<pre> graph TD 102[102] --> 104L[104] 102 --> 104R[104] 104L --> 106L1((106)) 104L --> 106L2(()) 104R --> 106R1(()) 104R --> 106R2(()) </pre>	

(57) Zusammenfassung

Verfahren und System zum Verwalten von Beständen in einer Mehrfachebenendistributionskette durch Anwenden von Optimierungsalgorithmen auf ein aus einer Formulierung des Distributionsnetzwerks und den in das Netzwerk faktorierten verschiedenen Elementen konstruiertes Bereichsprofil. Eine formale Definition des Optimierungsproblems wird definiert, und Algorithmen für die Maximierung der Lagerreichweite von Abdeckungsprofilen werden vorgeschlagen. Durch den Optimierungsprozeß werden Transportkosten auf ein Minimum reduziert und Bestandsengpässe vermieden. Falls jedoch Engpässe auftreten sollten, versieht das System Bedarfe mit Prioritäten und liefert eine optimale Lösung für eine monotone Verteilung von Produkten. Das Verfahren weist folgende Schritte auf: Initialisieren des Reichweitenprofils des Lagers mit einem Startwert; Berechnen der notwendigen Zuflüsse, die notwendig sind, um die Profilbeschränkungen zu erfüllen; Konstruieren des kostengünstigsten Flusses für diese Bedarfe unter Verwendung eines Minimalkostenalgorithmus; und Verkleinerns oder Vergrößerns der Lagerreichweite der Abdeckungsprofile, bis eine Lösung gefunden ist.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Verfahren und System zur Maximierung des Bereichs von Abdeckungsprofilen bei der Bestandsverwaltung

5

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Optimierung der Transportplanung und insbesondere ein Verfahren zur Optimierung der Lagerreichweiten in einem mehrere
10 Verteilebenen aufweisenden Transportnetzwerk durch die Verwendung eines rechnergestützten Optimierungsalgorithmus, insbesondere zur schnellen Bestimmung von Terminplänen für Versand und Produktion.

15 Allgemeiner Stand der Technik:

In vielen Industriebereichen, die die Fertigung und Verteilung von Gütern betreffen, besteht ein Bedarf an der Zuteilung von Bestands- und Transportressourcen. Diese Zuteilungsentscheidungen sind in der Regel Beschränkungen
20 hinsichtlich Ausrüstung, Zeit, Kosten, Lagerkapazität und anderen Parametern unterworfen, die das Ergebnis eines Distributionsprozesses, insbesondere eines Warenverteilungsprozesses, beeinflussen. Als Beispiel, das hier von besonderem Interesse ist, besteht ein Bedarf daran, die Distri-
25 butions- und Bestandsgrößen einer Versorgungskette zu optimieren, in der mehrere Produktionsstätten existieren, wobei mehrere Verteilzentren strategisch in der Nähe von Kunden lokalisiert sind.

30 Entscheidungen über die Zuteilungen von Ressourcen sind in der Regel Beschränkungen unterworfen. Einerseits sind Ressourcen von ihrer Gesamtverfügbarkeit immer begrenzt, und außerdem kann die Nützlichkeit einer bestimmten Ressource in einer bestimmten Anwendung ebenfalls be-
35 grenzt sein. So ist beispielsweise die Verkehrsführungs-

kapazität jeder einzelnen Verbindungsstrecke in einem Telekommunikationssystem begrenzt, während der dem Kommunikationssystem angebotene Gesamtverkehr ebenfalls begrenzt ist. Die einzelne Zuteilung einer Ressource weist eine
5 "Rendite" auf, d.h. die Kosten oder den Gewinn für diese Zuteilung. Das Problem besteht somit darin, die Ressourcen derart zuzuteilen, daß alle Beschränkungen berücksichtigt sind und gleichzeitig die Rendite maximiert wird, d.h. die Nachteile, z. B. Kosten, minimiert bzw. die Vorteile, z.
10 B. Gewinne, maximiert werden.

Ein Verfahren, derartige Zuteilungsentscheidungsprobleme darzustellen, ist als das Lineare Programmiermodell bekannt. Ein derartiges Modell besteht aus einer Reihe von linearen Beziehungen, die in einer Matrixform dargestellt
15 werden und quantitativ die Beziehungen zwischen Zuteilungen, Beschränkungen und den Ergebnissen des Optimierungsprozesses repräsentieren. In den linearen Beziehungen wird die Summe aus konstanten Koeffizienten multipliziert mit unbekannten Zuteilungswerten dargestellt. Eine derartige
20 Modellierung der Linearen Programmierung wird in einem mehrdimensionalen Raum erzielt, wobei mehrdimensionale Vektoren eine mehrdimensionale Figur bzw. ein Polytop liefern, wobei jede Facette auf einer Fläche davon durch Gleichungen begrenzt wird, die Beziehungen zwischen zuge-
25 teilten Ressourcen in dem Prozeß definieren. Ein Lösungsansatz des linearen Programmierproblems stellt beispielsweise der Simplexalgorithmus dar, der 1947 von George Dantzig entwickelt wurde. Eine Lösungsalternative ist der Karmarkar-Algorithmus. Es gibt weitere Optimierungsalgo-
30 rithmen, mit denen Mindestkosten-Flußnetzwerkprobleme gelöst werden können. Netzwerkflußprobleme stellen dabei einen Sonderfall der linearen Programmierung dar.

Netzwerkflußalgorithmen finden bei Planungsproblemen in der Industrie vielseitig Anwendung. Sie können bei-

spielsweise bei Problemstellungen hinsichtlich Zuordnung, Transport, Mindestkostenfluß, kürzestem Weg und größtem Fluß durch ein Netzwerk angewandt werden.

Bei Zuordnungsproblemen gibt es einen zweiseitigen
5 (bipartiten) Graph, der eine Anzahl produktiver Knoten und
verbrauchender Knoten (beispielsweise Arbeitern und Aufga-
ben) umfaßt. Die Bögen zwischen den Arbeitern und den Auf-
gaben werden mit Kosten für die Zuordnung des Arbeiters zu
der Aufgabe gewichtet. Das Optimierungsproblem besteht bei
10 diesem Szenarium in der Zuordnung einer Aufgabe zu jedem
Arbeiter derart, daß die Gesamtkosten auf ein Minimum re-
duziert werden. Bei Transportproblemen gibt es einen zwei-
seitigen Graph, bei dem die produktiven und verbrauchenden
Knoten Fabrikanlagen und Verteilzentren sind. Jede Fabrik-
15 anlage produziert Einheiten, und jedes Distributionszen-
trum hat einen Bedarf an diesen Einheiten. Die Bögen zwi-
schen Fabrikanlagen und den Verteilzentren werden durch
Transportkosten der Einheiten gewichtet. Das Optimierungs-
problem besteht in diesem Fall darin, die Transportkosten
20 auf ein Minimum zu reduzieren, unter der Auflage daß alle
Bedarfe in den Verteilzentren erfüllt werden. Das Mindest-
kostenflußproblem ist lediglich das Transportproblem mit
Zwischenknoten in dem Netzwerk. Außerdem können die Bögen
eine kleinste und größte Kapazität aufweisen.

25 Bei dem Problem des kürzesten Weges liegt ein Graph
mit positiv gewichteten Bögen vor. Das Optimierungsproblem
besteht darin, zwischen zwei gegebenen Knoten in dem
Transportnetzwerk den kürzesten Weg zu finden. Das Problem
des größten Flusses durch ein Netzwerk ist ähnlich dem
30 Transportproblem, mit der Ausnahme, daß die Bögen zwischen
den Knoten begrenzte Transportkapazitäten, aber keine
Transportkosten aufweisen. Das Optimierungsproblem besteht
darin, ohne Verletzung der Transportkapazitäten einen
größten Fluß durch das Netzwerk transportiert zu bekommen.

Jedoch sind im Stand der Technik Netzwerkflußprobleme auf Netzwerke mit Knoten und Bögen dazwischen begrenzt, wobei der Fluß durch Transportkosten zwischen ihnen mit einer linearen Strafe belegt wird. Es besteht ein Bedarf an einer Netzwerkflußlösung, bei der die Minimierung der Transportkosten eine niedrigere Priorität hat und bei der die Maximierung des Bereichs von Abdeckungsprofilen in den Verbrauchsknoten von herausragender Wichtigkeit ist. Dieses Problem kann weder, wie im Stand der Technik, als lineares Optimierungsproblem noch als Netzwerkflußproblem formuliert werden.

Kurze Darstellung der Erfindung:

15

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht in der Schaffung eines neuen Algorithmus für die Maximierung des Bereichs von Abdeckungsprofilen bei dem Verteilungsproblem, das sich bei Planungssystemen in der industriellen Produktion ergibt. Es werden mehrere Algorithmen vorgeschlagen, die auf dieses Problem anwendbar sein sollen. Die Entscheidung hinsichtlich der Frage, welcher Algorithmus für ein gegebenes Verteilungsproblem angemessen ist, hängt von der Größe des Problems und der maximal akzeptablen CPU-Zeit für die Berechnung ab. Die vorliegende Erfindung schlägt eine neue Formulierung des Netzwerkflußproblems vor, die unterschiedliche Transportarten, Zeit- und Terminbeschränkungen, Bedarfsprioritäten und festgelegte Produktionsflüsse berücksichtigt. Die algorithmische Funktion wird dann auf diese Formulierung angewendet.

30

Die Aufgabe des Algorithmus besteht darin, die freien Variablen der Bereichsprofilformulierung derart zu wählen, daß zuerst der Bereich von Abdeckungsprofilen maximiert wird und danach die Transportkosten minimiert werden. Der

vorgeschlagene Algorithmus kann als grundlegenden Baustein jeden beliebigen Mindestkostenflußalgorithmus verwenden.

Ausführliche Beschreibung der Erfindung:

5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Planungssystem zum Optimieren des Flusses von Waren und Gütern in komplizierten Distributionsnetzwerken unter Verwendung eines neuen, effizienten Algorithmus. Zunächst wird die Formulierung
10 des Planungssystems erörtert, danach werden die auf diese Formulierung anzuwendenden neuen Algorithmen eingeführt. Beim Aufbau des Szenariums, in dem der Algorithmus angewendet werden soll, wird von der Annahme ausgegangen, daß das für die betrachtete Zeitperiode zu verteilende Produk-
15 tionsvolumen bereits festgelegt ist und daß auch Bedarfsdaten bekannt sind. Der hier beschriebene Verteilungsalgorithmus soll hauptsächlich auf Störungen im Produktionsprozeß oder auf kurzfristige Veränderungen im Verteilungsprozeß reagieren. Das System eignet sich gut für Produkte,
20 die in großen Mengen produziert werden und bei denen der Bedarf stark schwankt. Der hier dargelegte Optimierungsprozeß versucht, durch Zukunftsplanung (Push-Distribution) Transportkosten auf ein Minimum zu reduzieren und Engpässe zu vermeiden. Wenn es dennoch zu Engpässen kommt, wird an-
25 gestrebt, optimal zu reagieren (Fair-Share-Distribution), indem für den Bedarf Prioritäten gesetzt werden.

Die grundlegende Struktur eines Systems zum Verteilen von Waren, auf die die vorliegende Erfindung angewendet werden kann, umfaßt aus drei Elemente: die Produktionsan-
30 lagen, die zentralen Lagerhäuser und die Verteilzentren.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen:

Die Erfindung wird nachfolgend anhand in Figuren dargestellter Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

5

Figur 1 eine graphische Darstellung eines einfachen Distributionsnetzwerkes.

Figur 2 eine graphische Darstellung eines komplizierten Distributionsnetzwerkes.

10 **Figur 3** eine graphische Darstellung des Zuordnungsproblems in Form eines zweiseitigen Graphen.

Figur 4 eine graphische Darstellung eines Netzwerkes mit ausgeglichener Distribution.

15 **Figur 5** eine graphische Darstellung von Produktions- und Bedarfsknoten mit verschiedenen möglichen Zuordnungen.

Figur 6 eine Produktionsanlage mit Angebot und Bedarf.

Figur 7 eine graphische Darstellung eines Distributionsnetzwerkes mit mehreren Transportarten.

20 **Figur 8** eine graphische Darstellung eines optimierten Distributionsnetzwerkes mit mehreren Transportarten.

Figur 9 ein Flußdiagramm sowohl möglicher als auch optimierter Transportstrecken.

Figur 10 ein weiteres Beispiel möglicher und optimierter Transportstrecken.

25 **Figur 11** den Einfluß unzulässiger Perioden auf die möglichen Transportoptionen in einem Distributionsnetzwerk.

Figur 12 eine graphische Darstellung eines einfachen Distributionsnetzwerkes mit Zeitwerten auf den Bögen.

30 **Figur 13** eine graphische Darstellung der Produktions- und Bedarfsprofile eines Distributionsnetzwerkes.

Figur 14 eine graphische Darstellung eines globalen Bereichsprofils für eine mögliche Zuordnung.

Figur 15 eine graphische Darstellung für ein globales Bereichsprofil für eine weitere mögliche Zuordnung.

Figur 16 ein Beispiel für einen monotonen optimalen Transportplan.

5 Figur 17 die Suche nach dem maximalen monotonen Bereichsprofil.

FIG. 1 zeigt den einfachsten Fall eines Distributionsnetzwerkes. In einer Produktionsanlage 102 können unter
10 Einsatz von Produktionseinrichtungen, welche begrenzt verfügbar sind Waren produziert werden. Diese Waren werden anschließend (z. B. in Lagerhäusern) zwischengelagert
104. Um kurze Warentransportstrecken zu Kunden und um eine schnelle und wirtschaftliche Anlieferung zu garantieren,
15 sind Zwischenlagereinrichtungen bzw. Verteilzentren 106 erforderlich. Mit den Zwischenlagereinrichtungen (Zwischenknoten) bzw. den zentralen Lagerhäusern 104 kann ein größeres Transportvolumen erzielt werden. Der Einsatz zentraler Lagerhäuser 104 führt zu längeren Anlieferzeiten,
20 aber auch zu niedrigeren Transportkosten. Ein Verteilzentrum kann, falls erforderlich, auch eine direkte Anlieferung erhalten. Diese besondere Darstellung gibt nur eine schematische Struktur wieder. In der Praxis können Netzwerkstrukturen viel größere Abmessungen mit einer großen
25 Anzahl von Anlagen, Lagerhäusern und Verteilzentren erreichen. Wie in FIG 2 dargestellt, umfassen diese Netzwerkstrukturen mehrere Herstellungsanlagen 202, zentrale Lagerhäuser 204 und Verteilzentren 206.

Die Aufgabe des Verteilungsproblems kann wie folgt
30 zusammengefaßt werden. In der typischen Versorgungskette gibt es Quellen, Senken und ein Transportnetzwerk. Die Quellen sind Anlagen, für die ein geplantes Produktionsprofil vorliegt. Die Senken sind die Verteilzentren, für die ein Bedarfsprofil (Kundenaufträge oder ein prognosti-

zierter Bedarf) vorliegt. Das Transportnetzwerk besteht aus Bögen mit Transportkosten und Zeitwerten zwischen den Zwischenknoten. Die vorliegende Erfindung sucht nach der optimalen Zuordnung der räumlich und zeitlich verteilten

5 Produktion zu dem ebenfalls räumlich und zeitlich verteilten Bedarf, so daß die Lagerreichweite von Abdeckungsprofilen maximiert wird. Wie oben erwähnt, werden zwei Fälle unterschieden. In dem "Push"-Fall übersteigt die Anzahl der zur Verfügung stehenden Produkte den Bedarf, und die

10 Produkte werden derartig verteilt, daß der Bereich der Abdeckung von jedem gleichförmig zunimmt. In dem "Fair Share"-Fall liegt die Anzahl der zur Verfügung stehenden Produkte unter dem Bedarf, und die Produkte werden derartig verteilt, daß wichtigere Kunden bevorzugt beliefert werden

15 und Kunden mit gleicher Priorität ähnlich behandelt werden. Die Erfindung verhindert, einen Kundenbedarf mit niedrigerer Priorität zu bedienen, bevor ein Kundenbedarf mit höherer Priorität bedient wird. In dem "Push"-Fall wird das Minimum des Bereichs von Abdeckungsprofilen auf

20 alle Verteilzentren angewendet. Für den "Fair Share"-Fall wird jede Prioritätsklasse sequentiell behandelt, und die Abdeckung wird maximiert, um diese Bedarfe mit hoher Priorität zu bedienen. Wenn darüber hinaus verschiedene Transportarten, Transportwege und Angebotsquellen zur Verfügung

25 stehen, sollte weiterhin der gesamte Verteilplan so optimiert werden, daß die Gesamtkosten so niedrig wie möglich sind.

Bei dem Ansatz zur Lösung des oben beschriebenen Verteilungsproblems spielt das Transportproblem bzw. das Zu-

30 ordnungsproblem eine zentrale Rolle. Das zugrunde liegende Zuordnungsproblem ist wie folgt definiert: in einer zweiseitigen graphischen Darstellung mit einer gleich großen Anzahl linker und rechter Knoten sollte jeder Knoten auf der linken Seite einem Knoten auf der rechten Seite zuge-

ordnet sein, so daß jeder Knoten genau einen Partner hat. Die resultierende Verbindung ("Bogen") zwischen zwei Knoten ist mit bestimmten Kosten verbunden. Die resultierenden Gesamtkosten sollten minimal sein. FIG. 3 beschreibt das Zuordnungsproblem in Form einer graphischen Darstellung. Der Pfeil 302 stellt eine mögliche Zuordnung einer Quelle 304 auf der linken Seite zu einer Senke 306 auf der rechten Seite dar. Die Kosten von Zuordnungen sind als Werte 308 der Bögen eingetragen. Das klassische Transportproblem unterscheidet sich von dem Zuordnungsproblem dahingehend, daß ein Knoten auf der linken Seite (nun als "Produzent" bezeichnet) einer beliebigen Anzahl von Knoten auf der rechten Seite (nun als "Verbraucher" bezeichnet) zugeordnet sein kann. Das zu lösende Problem besteht darin, wie zwischen den Knoten eine geeignete Verteilung von Materialien gefunden werden kann, so daß der sogenannte Bestandsbereich maximiert wird. Dies bedeutet, den kleinsten Bestand über alle Knoten und Perioden hinweg zu maximieren. Außerdem soll aus den möglichen Lösungen (Lösungsschar) die Lösung mit den geringsten Transportkosten gewählt werden. Der Lagerbereich eines Lagerhauses ist als die Anzahl nacheinanderfolgender Perioden (einschließlich der gegenwärtigen Periode) definiert, für die der aktuelle Bestand ausreicht. Ein Bereich von 1 bedeutet somit, daß der Bestand exakt den Bedarf einer einzigen, nämlich der gegenwärtigen Periode abdeckt.

Die Entwicklung des Problems, auf die die vorgeschlagenen Algorithmen angewendet werden sollten, wird nun näher beschrieben.

DER KLASSISCHE FALL

Im einfachsten Fall betrachte man ein einfaches zweiseitiges Netzwerk mit Produktionsanlagen (PA) auf der einen Seite und Verteilzentren (Verteilzentrum) auf der anderen

Seite. In diesem klassischen Fall erfolgen die Anlieferungen immer von den Anlagen zu den Verteilzentren und nicht in der entgegengesetzten Richtung. Eine PA kann ein beliebiges Verteilzentrum versorgen. FIG. 4 zeigt ein Beispiel mit zwei Anlagen 402, 404 und zwei Zentren 406, 408. Normalerweise wird man wesentlich mehr Verteilzentren als Produktionsanlagen haben.

Eine Produktionsanlage i weist in einer Periode t eine Produktionsrate $p_i(t)$ auf. In einem Verteilzentrum j liegt eine Kundennachfrage von $o_j(t)$ vor. Der anfängliche Bestand aller Anlagen und Zentren beträgt Null. Wenn der Bereich für 1 Periode gesetzt ist (d.h. der Bestand eines Verteilzentrums muß in einer bestimmten Periode nur genau für diese Periode reichen), kommt es zu folgender Situation: Der Bedarf eines Verteilzentrums j in einer Periode t kann durch alle Produktionen abgedeckt werden, die rechtzeitig dem Verteilzentrum angeliefert werden können (das heißt nicht später als Periode t). Um diesen Bedarf abzudecken, könnte deshalb die Produktion aller Anlagen i in allen Perioden $t' \leq t - T_{ij}$ (wobei T_{ij} die Transportzeit ist) verwendet werden. Bei diesem ersten Beispiel sind die Transportzeiten gleichförmig auf eine Periode eingestellt. Beim Transport einer Materialeinheit entstehen Transportkosten C_{ij} . FIG. 5 zeigt in unserem Netzwerk diejenige Situation, bei der das Fenster auf drei nachfolgende Perioden erweitert wird (wodurch in die Netzwerkberechnung die zusätzliche Variable der Zeit eingeführt wird). Die Anzahl der berücksichtigten Perioden wird als der Horizont bezeichnet. Bei diesem neuen Szenarium steht jeder Knoten 502 in der Darstellung nun für eine Tagesproduktion bzw. einen Tagesbedarf. Die Pfeile 504 entsprechen nicht mehr direkt den Transportwegen, sondern entsprechen stattdessen der logischen Zuordnung zwischen einer bestimmten Produktionseinheit und einer bestimmten Bedarfseinheit. Jeder

Bogen kann deshalb durch den Ort der Quelle und des Ziels (i and j) und durch den Anfangs- und Endzeitpunkt (t_i and t_j) eindeutig identifiziert werden. Die Zuordnung einer bestimmten Materialmenge von einem Knoten auf der linken
5 Seite zu einem Knoten auf der rechten Seite wird als der Fluß auf dem Bogen bezeichnet. Dieser Fluß führt zu Kosten in der Höhe der entsprechenden Transportkosten C_{ij} in dem Distributionsnetzwerk.

Wie man sehen kann, ist dies ein klassisches, vereinfachtes Transportproblem, wie es aus Operations Research
10 bekannt ist. Als solches kann es über einen standardmäßigen Ansatz aus Operations Research gelöst werden (beispielsweise über den MODI-Algorithmus, wie er aus dem Stand der Technik bekannt ist). Da der eigentliche Opti-
15 mierer auf der Ebene des Transportproblems arbeitet, wird das Transportnetzwerk von jetzt ab als das *Optimierungsnetzwerk* bezeichnet, und der Optimierer wird als der *Transportoptimierer* bezeichnet. Die Knoten in dem Verteilnetz werden als die *Distributionsnetzwerkkn* bezeichnet,
20 net, die Knoten in dem Optimierungsnetzwerk als *Optimierungsnetzwerkkn*, wenn auf beide Bezug genommen wird. Die Knoten in dem Optimierungsnetzwerk werden in *Quellen* und *Senken* unterteilt.

Dieser besondere Fall eines Distributionsnetzwerks
25 ist einfacher zu behandeln, da hier Produktion und Bedarf des optimierenden Netzes genau denen in dem Distributionsnetzwerk für eine einzelne Periode entsprechen. Wenn der Bereich auf mehrere Zeitperioden vergrößert wird, ist dies nicht mehr der Fall. Die genaue Übertragung dieser Werte
30 aus dem Verteilnetz in das optimierende Netz wird in dem nächsten Abschnitt beschrieben.

VON DEM VERTEILUNGSPROBLEM ZU DEM TRANSPORTPROBLEM IN DEM
KLASSISCHEN FALL.

In dem vorausgegangenen Abschnitt wurde das Verteilungsproblem für einen festgelegten Bereich von einer Periode auf das Transportproblem projiziert. Das Ziel besteht nunmehr darin, die Projektion für jeden möglichen Bereich zu verallgemeinern. Da die Werte der Senken in dem optimierenden Netzwerk bereits um einen Bereich von mehr als einer Periode von dem Bedarf in dem Verteilnetz abweichen und da, die Quellenwerte sich von den Produktionswerten in einem Distributionsnetzwerk unterscheiden können, wird eine weitere Unterscheidung hinsichtlich der Daten des optimierenden Netzwerks spezifisch von den Originaldaten in dem Verteilnetz vorgenommen. Im Weiteren wird bezogen auf das optimierende Netzwerk immer von Angebot und Bedarf gesprochen - die Ausdrücke Produktion und Auftrag beziehen sich immer auf die Werte in dem Verteilnetz. Das Angebot in einer Periode t eines Knotens i in dem optimierenden Netz ist als $s_i(t)$ definiert, und der Bedarf ist als $d_i(t)$ definiert.

Definition des Bereichs der Abdeckung

Der Zielbestand $L_i(t)$ in einer Periode t für einen gegebenen Bereich $R(t)$, ergibt sich aus den Aufträgen der nachfolgenden Perioden (die Einbeziehung des Sicherheitswarenbestand $m_i(t)$ erfolgt hierbei noch nicht):

$$L_i(t) = \sum_{\tau=t+1}^{t+R(t)} o_i(\tau) + (R(t) - \lfloor R(t) \rfloor) o_i(t + \lfloor R(t) \rfloor)$$

Alternative Definition / Verallgemeinerung des Bereichs der Abdeckung

Die allgemeine Aussage über den Bereich der Abdeckung (Lagerreichweite) kann alternativ so geschrieben werden, daß sie eine Maximierung des Multiplikators des Sicherheitswarenbestands enthält:

$$L_i(t) = o_i(t) + R(t) * \text{Sicherheitswarenbestand}$$

oder allgemein für jede monoton ansteigende Funktion f mit

$$L_i(t) = f(R(t)).$$

10

Der Übersichtlichkeit halber wird im folgenden nur die erstgenannte Definition des Bereichs der Abdeckung betrachtet.

15 Im Fall eines Verteilzentrums hängt der Bedarf $d_i(t)$ von der Differenz des Zielbestands $L_i(t) - L_i(t-1)$ ab, der wiederum von dem Bereich $R(t)$ und dem Kundenauftrag $o_i(t)$ abhängt. Der Bedarf $d_i(t)$ ergibt sich zu:

20 Verteilzentren: $d_i(t) = o_i(t) + L_i(t) - L_i(t-1)$

[Die Bedingungen: $d_i(t) \geq 0 \Leftrightarrow R(t) \geq R(t-1) - 1$ sollten hierbei erfüllt sein.]

25 Das Angebot $s_i(t)$ einer Anlage entspricht bei diesem einfachen Modell der realen Produktion. Eine Anlage weist normalerweise keinen Eigenbedarf auf, das heißt sie hat keinen Zielbereich, der erreicht werden muß. Das Angebot der Anlage $s_i(t)$ ergibt sich zu:

30

$$s_i(t) = p_i(t)$$

Nun kann das Transportproblem, wie es in dem vorausgegangenen Abschnitt gezeigt ist, definiert werden. In FIG. 5 muß lediglich $p_i(t)$ durch $s_i(t)$ und $o_i(t)$ durch $d_i(t)$ ersetzt werden.

VON DEM VERTEILUNGSPROBLEM ZU DEM TRANSPORTPROBLEM IN DEM ALLGEMEINEN FALL.

Die Modelle zum Projizieren des bisher gezeigten Transportproblems sind auf wesentliche Werte begrenzt. Es wird nun ein Modell erstellt, bei dem Sicherheitswarenbestände und Aufträge mit mehreren Prioritätsklassen berücksichtigt werden:

$$L_i(t) = m_j(t+R(t)) + \sum_{\tau=t+1}^{t+R(t)} \sum_{P \leq P_{\text{prognostiziert}}} o_j^P(\tau)$$

(Verallgemeinerung für nichtganzzahlige $R(t)$ siehe oben)

Anmerkung: Wenn auch Durchgangsfrachten $tr_i(t)$ (festgelegte Anlieferungen) berücksichtigt werden, dann reduziert sich der Bedarf zu:

$$d_i(t) = o_i(t) - tr_i(t) + L_i(t) - L_i(t-1).$$

Immer dann, wenn die Durchgangsfracht groß genug ist, kann dieser Bedarf möglicherweise negativ werden, d.h. dieser Knoten verändert sich zu einem Angebotsknoten mit positivem Angebot:

$$s_i(t) = -(o_i(t) - tr_i(t) + L_i(t) - L_i(t-1)).$$

Das bedeutet, daß immer dann, wenn die festgelegte Anlieferung $tr_i(t)$ groß genug ist, ein Verteilzentrum zu einem bestimmten Zeitpunkt t ein Angebotsknoten (anstelle eines Bedarfsknotens) werden kann. In diesem Fall kann ein derartiges Angebot eines Verteilzentrums i zu einem bestimmten Zeitpunkt t hinsichtlich der Transportzeit einem beliebigen Bedarf eines anderen Knotens zugeordnet werden. Insbesondere die Transportzeit und die Transportkosten für

die zukünftigen Bedarfe des gleichen Verteilzentrums i werden auf Null gesetzt. Zu Beginn des Planungshorizonts $t = 0$ kann der anfängliche Bestand von Verteilzentren durch festgelegte Anlieferungen $tr_i(0)$ modelliert werden.

5 **FIG. 6** zeigt ein kleines Netzwerk mit einer Herstellungsanlage 602 und zwei Verteilzentren 604, 606. In dem Verteilzentrum 1 beispielsweise liegt aufgrund eines sehr großen anfänglichen Bestands in Periode 1 ein Überangebot vor. Dies kann nun dem Bedarf der Periode 2 608 oder dem

10 Bedarf des Verteilzentrums 2 zugeordnet werden.

UNTERSCHIEDLICHE TRANSPORTMÖGLICHKEITEN

In dem vorausgegangenen Abschnitt wurde ein sehr einfaches Netzwerk mit nur einem Transportmittel zwischen zwei Knoten berücksichtigt. Es wird nun die Veränderung untersucht, die zu dem Prozeß führt, eine Lösung zu finden, wenn verschiedene Transportverfahren zur Verfügung stehen. Verschiedene Transportverfahren bedeutet nicht notwendigerweise verschiedene Transportmittel, es kann sich auch

15 auf Alternativen bei dem Weg beziehen (beispielsweise für den Fall von Lastwagentransporten). Der längere Weg muß es wert sein, das heißt er ist nur dann sinnvoll, wenn dadurch niedrigere Transportkosten entstehen.

FIG. 7 veranschaulicht ein Distributionsnetzwerk mit mehreren möglichen Mitteln für den Transport wie beispielsweise durch Lastwagen 702 oder durch Flugzeuge 704. Verschiedene Bögen entsprechen in diesem Fall verschiedenen Transportmitteln. Die Strecken sind immer mit den verwendeten Transportmitteln und mit der Zeit 706 des Transports (in Perioden) markiert. In der Darstellung des optimierenden Netzwerks korreliert jeder Bogen mit einer maximalen Transportdauer. Beispielsweise kann für die Zuordnung eines Angebots aus Periode 1 zu einem Bedarf in Periode 2 lediglich ein Transportmittel gewählt werden, das

25

30

zum Transport nicht mehr als eine Periode benötigt. Außerdem ist es sinnvoll, nicht lediglich eine durchführbare Möglichkeit, sondern die beste Möglichkeit zu wählen. Man kann dann die grundlegende Annahme formulieren, daß für
5 den Fall, daß ein langsames Transportmittel gewählt wird, es auch das preiswertere ist. Diese zusätzliche Annahme verändert im Prinzip deshalb nur die Kosten der Zuordnung in dem entsprechenden Transportproblem. Die Verbindung mit dem Transportproblem ist in FIG. 8 gezeigt, in
10 welcher ein Optimierungsnetz dargestellt ist, in dem mehrere Transportarten vorliegen. Die Projizierung der Transportkosten wird durch die verschiedenen genutzten Transportarten erweitert.

15 TRANSPORT ÜBER ZWISCHENLAGEREINRICHTUNGEN.

Im Weiteren wird zunächst der Fall mit nur einer Möglichkeit des Transports für jede direkte Strecke zwischen zwei Knoten betrachtet. Anschließend wird die Veränderung berücksichtigt, die sich ergibt, wenn für eine derartige
20 Strecke mehrere Alternativen zugelassen werden.

ZWISCHENLAGEREINRICHTUNGEN IM FALL EINER MÖGLICHKEIT
DES TRANSPORTS PRO STRECKE.

Bisher wurde lediglich ein zweistufiges Distributionsnetzwerk berücksichtigt. Die Verbraucher (in diesem Fall die Verteilzentren) werden von den Herstellungsanlagen direkt
25 beliefert. Oftmals benutzen Distributionsnetzwerke auch zentrale Zwischenlagereinrichtungen. Durch Einführen dieser Einrichtungen können die Transportwege zu den Verteilzentren nun teilweise zusammengebündelt werden. Anlieferungen können ebenfalls gebündelt und somit möglicherweise preiswerter gemacht werden. Das zentrale Lagerhaus funktioniert wie eine Durchgangsstation, um die Anlieferungs-
30 optimierung zu unterstützen. Aus diesem Grund kann die

Produktion der Anlagen den Verteilzentren direkt zugeordnet werden. Für die Dauer des Gesamttransports (über die Zwischenlagereinrichtung) kann die Summe der Transportzeit zu dem zentralen Lagerhaus und von dort zu dem Verteilzentrum verwendet werden. Die Transportzeiten schließen gegebenenfalls bereits die Ein- und Auslagerzeiten mit ein. Da das erfindungsgemäße Verfahren den Bereich der Abdeckungsprofile der Lagerhäuser maximieren soll, sind möglichst frühe Anlieferungen und deshalb kurze Transportzeiten von Vorteil. Aus diesem Grund wird immer der schnellste Weg zwischen zwei Knoten bevorzugt, selbst wenn er nicht notwendigerweise der direkte Weg ist. In der graphischen Darstellung der Transportzeiten ist, um die kürzeste Gesamttransportdauer zwischen zwei beliebig gewählten Knoten zu erhalten, die transitive Hülle der graphischen Darstellung zu berechnen. FIG. 9 zeigt ein Beispiel mit der kürzesten Transportzeit zwischen zwei Knoten, oben ist das gegebene Netz dargestellt, unten die dazugehörige transitive Hülle.

In dem ersten Flußdiagramm 902 sind die verschiedenen Transportstrecken und -zeiten gezeigt. Es dauert drei Perioden, um von Knoten 904 zu Knoten 906 zu kommen. Um allerdings von Knoten 904 durch Knoten 908 zu Knoten 906 zu kommen, dauert es nur zwei Perioden. Unter Berücksichtigung dieser Angaben wird das Flußdiagramm 910 erstellt, das die Mindestzeiten zeigt, die erforderlich sind, um sich zwischen den Knoten zu bewegen.

Wenn die Zeitdauer des schnellsten Wegs auf diese Weise berechnet worden ist, werden dann die damit verbundenen Kosten berechnet. Analog zu den Zeiten setzen sie sich aus der Summe der Kosten für jeden Teil des Wegs zusammen. Gibt es mehrere schnelle Wege, werden die Kosten des effizientesten und/oder günstigsten unter ihnen verwendet.

ZWISCHENSPEICHEREINRICHTUNGEN IM FALL VON ALTERNATIVEN
MÖGLICHKEITEN DES TRANSPORTS FÜR JEDE STRECKE.

Wie oben erläutert, können mit dem erfindungsgemäßen Verfahren auch alternative Bögen in dem Distributionsnetzwerk
5 berücksichtigt werden. Beim Transport über Zwischenknoten stellt sich die Frage, welcher Bogen für die verschiedenen Segmente verwendet werden soll. Wenn alle Kombinationen zugelassen werden, dann ergeben sich bei mehreren Zwischenknoten schnell sehr viele Möglichkeiten des Trans-
10 ports zwischen den Endknoten. Bei näherer Untersuchung allerdings stellt sich heraus, daß nicht jede dieser Bogenkombinationen sinnvoll ist. Zum Beispiel würde man normalerweise nicht in einem ersten Segment eine Expresßverbindung und in einem zweiten Segment eine langsame Verbindung
15 benutzen. Aus diesem Grund ist zur Eingabe der Verbindungen folgendes Verfahren gewählt worden:
Zunächst wird die Anzahl der maximal zulässigen Transportarten in dem Netz spezifiziert. Die Transportarten entsprechen hier verschiedenen Geschwindigkeitsklassen (beispielsweise Normal und Expresß). Wenn nun zwischen zwei
20 Knoten eine direkte Verbindung definiert werden soll, dann gibt man für jede Transportart (d.h. Geschwindigkeit, Klasse, usw.) die Kosten und die Dauer an. Der Optimierer berechnet dann für jede Klasse getrennt den besten Weg,
25 wie in dem letzten Abschnitt beschrieben. Diese Daten werden dann in dem Optimierungsnetzwerk verwendet. Bei Wegen mit mehreren Segmenten werden die Transportarten nicht miteinander vermischt. Wenn dennoch auf einer Strecke nur eine Transportmöglichkeit zugelassen werden soll, dann
30 werden für alle Transportarten die gleichen Daten verwendet. FIG. 10 zeigt ein Beispiel. Die Zeichnung zeigt oben das eingegebene Netzwerk, und unten das daraus durch den Optimierer erstellte Netzwerk. Der Weg 1002 zeigt ein Herstellungszentrum 1004, ein zentrales Lagerhaus 1006 und

ein Verteilzentrum 1008. Er zeigt einen Transportweg 1010 per Zug, der 1 Periode benötigt, Transportweg 1012 per Lastwagen, der 3 Perioden benötigt, Transportwege 1014, 1016 per Flugzeug, die jeweils 1 Periode benötigen. Die Bögen des Normalmodus sind mit Punkten gezeigt, die Bögen der Expresßbetriebsarten sind mit Linien gezeigt. Zwischen den Knoten 1006 und 1008 gibt es nur eine reale Verbindung, nämlich den Transport per Flugzeug. Der Weg 1018 zeigt die von dem Optimierer zwischen dem Herstellungszentrum 1004, dem zentralen Lagerhaus 1006, und dem Verteilzentrum 1008 komprimierten Wege.

UNZULÄSSIGE PERIODEN

Im folgenden wird die Implementierung von unzulässigen Bögen erörtert. Jede Transportverbindung und jeder Distributionsknoten kann mit einer Liste unzulässiger Perioden versehen werden. Unzulässige Perioden sind Zeitfenster wie beispielsweise Feiertage, an denen der Transport ruht oder an denen keine Waren angenommen oder ausgegeben werden können. Es wird an den oben beschriebenen klassischen Fall erinnert, in dem jeder Knoten in dem Optimierungsnetz für einen Ausgangspunkt i , einen Startzeitpunkt t_i , einen Zielort j und eine bestimmte Zielzeit t_j einer bestimmten Materialzuweisung steht. Um Feiertage zu berücksichtigen, wird jeder Bogen soweit in die Zukunft geschoben, bis t_i auf eine zulässige Periode zur Ausgabe von Waren beim Knoten i fällt (das heißt, sowohl zu der Startzeit als auch zu der Zielzeit wird ein gemeinsames Zeitdelta addiert). Danach wird t_j ebenfalls solange verschoben, bis die Summen der zulässigen Transportperioden zwischen t_i und t_j für den entsprechenden Transport ausreichen, und bis t_j auf eine zulässige Periode zur Annahme von Waren beim Knoten j fällt. FIG. 11 zeigt ein optimierendes Netzwerk mit einem Horizont aus sechs Perioden 1102, 1104, 1106, 1108, 1110,

1112. Die Knoten sind mit der Distributionsnetzknottennummer i und der zugehörigen Periodennummer t_i markiert. Die unzulässigen Perioden sind jeweils schraffiert/grau dargestellt. In Periode 2 ist die Warenannahme im Distributionsnetzknotten 1 verboten. Die Warenabgabe ist in Knoten 2 in Periode 5 unzulässig. In Periode 3 1114 ist der Transport unzulässig. Die beschriebene Distribution der unzulässigen Perioden ist natürlich ein Extremfall. In den meisten Fällen wird der Feiertag wenigstens die gleichzeitig warenempfangenden und warenausgebenden Bereiche tangieren.

DIE SUCHE NACH DEM MAXIMALEN BEREICHSPROFIL.

Das Ziel der vorliegenden Erfindung besteht darin, die Verteilzentren der Bedarfsknoten mit dem zur Verfügung stehenden Material derart zu beliefern, daß das Reichweitenprofil des Bestands über alle Lager maximiert wird. Die Aufgabe besteht deshalb darin, eine geeignete Zuordnung von den Angebotsknoten zu den Bedarfsknoten zu finden. Bisher wurde dargestellt, wie eine Zuordnung zu einem gegebenen Bereichsprofil bestimmt wird, welche die oben angeführten Bedingungen erfüllt (minimale Transportkosten, die Feiertage usw. berücksichtigen). Dies geschieht durch die Abbildung eines Transportproblems und Lösung desselben unter Verwendung eines effizienten Transportalgorithmus, beispielsweise des MODI-Algorithmus, der als Grundlage für den von der vorliegenden Erfindung vorgeschlagenen verbesserten Algorithmus dienen kann. Nachfolgend wird das Problem der Maximierung des Bereichs der Abdeckung definiert.

30

MAXIMIERUNG DER REICHWEITENPROFILE BEI ÜBERANGEBOT

Ein Überangebot bedeutet, daß dem geplanten Kundenbedarf vollständig entsprochen werden kann. Somit hat der Transportoptimierer bei dem minimalen Reichweitenprofil von einer Periode über alle Verteilzentren und Zeitpunkte hinweg
5 eine Lösung gefunden. Nun muß das Reichweitenprofil maximiert werden. Auf den ersten Blick besteht die einzige Option darin, mit den gegebenen Möglichkeiten verschiedene Profile auszuprobieren und allmählich auf das Optimum hinzuarbeiten, z. B. durch ein Trial-and-Error-Verfahren. Annahmen hinsichtlich der existierenden Angebots- und Bedarfssituation, die die allgemeine Gültigkeit des Prozesses nicht übermäßig einschränken, können allerdings die Suche stark beschleunigen. Man muß allerdings das Risiko
10 akzeptieren, daß man nicht immer eine optimale Lösung finden kann. Vor einer ausführlicheren Erörterung sollte die Frage beantwortet werden, was unter einem maximalen Reichweitenprofil zu verstehen ist.

20 WIE SIEHT EIN MAXIMALES REICHWEITENPROFIL AUS?

Wenn man die Reichweite aller Verteilzentren in dem Netzwerk beschreiben will, dann ist das Reichweitenprofil jedes einzelnen Verteilzentrums zu beschreiben. Da die erfindungsgemäße Aufgabe allerdings darin besteht, die
25 Reichweiten zwischen den Lägern zu einem gegebenen bestimmten Zeitpunkt soweit wie möglich auszugleichen, reicht es aus, nur von einem globalen Reichweitenprofil zu sprechen, das dann für jedes Verteilzentrum als unterer Grenzwert gültig ist. Genauer gesagt ist das globale Profil $R(t)$ das Minimum für das örtliche Profil $R_i(t)$ über
30 den Knoten i . Die örtlichen Profile können möglicherweise zuweilen über dem globalen Profil liegen; sie können allerdings niemals darunter liegen, d. h. es gilt: $R(t) = \min_i \{R_i(t)\}$.

Wie bisher, wird im Weiteren nur von dem Reichweitenprofil gesprochen (das alle Verteilzentren betrifft). Man würde intuitiv vermuten, daß das maximale Bereichsprofil dasjenige Profil ist, das in jeder Periode maximal ist.
5 Dieses trifft nicht zu. Die maximale Reichweite in einer bestimmten Periode kann sich signifikant von der Reichweite einer anderen vorausgehenden Periode unterscheiden.

FIG. 12 zeigt als Beispiel ein Netzwerk mit zwei Herstellungsanlagen und zwei Verteilzentren. Auf den Bögen
10 sind die entsprechenden Transportzeiten eingetragen. In FIG. 13 sind die zugehörigen Produktions- und Bedarfsprofile gezeigt. Das Beispiel ist gemäß dem einfachen Modell eines Distributionsnetzwerkes aufgebaut und beinhaltet keine Sicherheitswarenbestände, Initallagerbestände oder
15 feste Zugänge. Alle Bedarfsklassen weisen gleiche Priorität auf, und es gibt nur eine Transportart. Für die folgende Betrachtung des Reichweitenprofils wird immer dieses einfache Modell verwendet. In einer bestimmten Periode ist die maximal mögliche globale Reichweite diejenige Reichweite, die beide Verteilzentren in dieser Periode gleich-
20 zeitig erreichen können. In Periode 2 weist die Reichweite einen Wert Drei auf. Dieser Wert wird nur dann erreicht, wenn die Produktion der ersten Periode von Werk 1202 (40 Einheiten) den Verteilzentren zu gleichen Teilen zugeordnet wird. Das Werk 1202 hat keinen Einfluß auf den Bereich
25 in der zweiten Periode, da das Material von diesem Werk 1202 nicht vor der dritten Periode angeliefert werden kann. Bei dieser Zuordnung ergibt sich für das Verteilzentrum 1 in der vierten Periode automatisch eine Reichweite von Eins, da dieses Verteilzentrum von dem Werk 2 erst in
30 der fünften Periode erreicht wird und da die anfängliche Produktion der Herstellungsanlage 1 bereit "aufgebraucht" ist. FIG. 14 zeigt die maximale globale Reichweite für diese erste Zuordnung. Die minimalen Lagerbestände beider

Zentren 1206, 1208 zu Beginn jeder Periode sind in Klammern gezeigt. Es ergibt sich immer dann eine unendliche Reichweite, wenn der Lagerbestand mindestens für alle folgenden Perioden ausreicht, da für Perioden jenseits des Horizontes ein Bedarf von null Einheiten angenommen wird.

Will man nun die globale Reichweite in Periode 4 von 1 auf 2 anheben, bietet sich folgende Zuordnung an. Von den in Periode 1 von Werk 1202 produzierten 40 Einheiten werden 30 Einheiten dem Verteilzentrum 1206 und 10 Einheiten dem Verteilzentrum 1208 zugeordnet. Von den 40 Einheiten der ersten Periode in Anlage 1204 ordnet man mindestens 20 Einheiten dem Verteilzentrum 1208 zu. Bei einer geeigneten Verteilung der restlichen Produktion von Anlage 1202 (beispielsweise auf beide Zentren 1206, 1208 in gleichen Teilen) wird die in FIG. 15 gezeigte globale Reichweite erreicht.

Diese Zuordnung hat den zusätzlichen Vorteil, daß das Minimum des globalen Bereichs über alle Perioden von 1 auf 2 angestiegen ist. Dieses Beispiel zeigt, daß es nicht immer günstig ist, bei Beginn die größtmögliche globale Reichweite aufzubauen. Dies verhindert manchmal die Möglichkeit, zu einem späteren Zeitpunkt ein Minimum der globalen Reichweite auszugleichen. Dieser Prozeß des Ausgleichs des Bestands ist in jedem Fall wünschenswert, um ein gutes Gesamtprofil zu erhalten. Die Reichweitenprofile in Fig. 14 und Fig. 15 müssen deshalb so eingestuft werden, daß das Reichweitenprofil in Fig. 15 bei Bewertung sich als besser als das Profil in Fig. 14 herausstellt. Es reicht nicht aus, nur das globale Minimum der Profile zu vergleichen (wie man denken könnte), da die anderen Perioden, bei denen eine Reichweite möglicherweise nur knapp über dem Minimum liegt, bei einem Vergleich nicht berücksichtigt werden. Es wird für das globale Reichweitenprofil deshalb die folgende Ordnung definiert:

Einstufung für das globale Bereichsprofil:

Für zwei globale Bereichsprofile R^1 und R^2 gilt:

$$5 \quad R^1 > R^2 : \Leftrightarrow \min\{R^1(t) \setminus R^1(t) \neq R^2(t)\} > \min\{R^2(t) \setminus R^1(t) \neq R^2(t)\}$$

Für die Vollständigkeit dieser Einstufung ist zu zeigen, daß wenn zwei Elemente nicht verglichen werden können (die Profile weisen bei verschiedenen Punkten das gleiche
10 Minimum auf), es immer ein Element gibt, das größer ist als die beiden anderen Elemente.

DAS MONOTONE REICHWEITENPROFIL

Es ist sehr zeitaufwendig, mit den bekannten Verfahren
15 (Trial-and-Error-Verfahren) das optimale Reichweitenprofil zu bestimmen, wenn beispielsweise das folgende Verfahren angewandt wird: Beginnend mit einer minimalen gleichmäßigen Reichweite von 1 zu jedem bestimmten Zeitpunkt vergrößert man die Reichweite in Periode 1 um ein kleines Delta
20 der Reichweite. Wenn eine Lösung gefunden wird, vergrößert man die Reichweite in Periode 2 ebenfalls und so weiter. Nachdem alle Perioden behandelt worden sind, beginnt der Prozeß wieder bei der ersten Periode. Falls die Reichweite in einer bestimmten Periode nicht vergrößert werden kann,
25 wird diese Periode bei den weiteren Iterationen von den Vergrößerungen ausgenommen. Die zeitliche Komplexität dieses Ansatzes wird durch $O(R_{max}/R_{min} \cdot H)$ Aufrufe des Transportoptimierers begrenzt, was möglicherweise zuviel Zeit in Anspruch nimmt, wobei R_{max} als die optimale Reichweite
30 definiert ist, der in der Periode auftreten kann; wobei R_{min} als die Präzision bzw. Granularität definiert ist, mit der dieser Bereich bestimmt werden soll, und H für den Horizont steht. In diesem Fall muß der Optimierer immer die Daten des gesamten Horizonts optimieren.

Aus diesem Grund werden erfindungsgemäß zunächst monotone Reichweitenprofile betrachtet. In einem zweiten Schritt wird dieser Ansatz auf nicht monotone Bereiche von Reichweitenprofilen verbessert. Da bei einer monoton steigenden Funktion das Minimum immer am Anfang liegt, ist das Profil, das unter den monoton steigenden Profilen das Maximum ist, das erste (mit dem kleinsten t), das einen größeren Wert als die anderen Profile erreicht. Ein Transportplan, der auf der Grundlage des maximalen monotonen Bereichsprofils berechnet wird, ist sehr gut, doch ist er leider nicht immer optimal. Dies zeigt ein Beispiel. Die Tabelle in FIG. 16 zeigt eine mögliche Situation in einem Distributionsnetzwerk mit einem Werk und zwei Verteilzentren. Die Transportzeit ist gleichmäßig eine Periode.

Das maximale monotone Reichweitenprofil R^M 1602 weist in jeder Periode einen Wert von 1 auf (mit Ausnahme der letzten Periode, da für den Bedarf von Perioden jenseits des Horizonts der Wert 0 angenommen wird), da in Periode 5 kein größerer Bereich möglich ist. Die Tabelle zeigt den Plan, der sich ergibt, wenn in dem Optimierungsnetz das Angebot dem Bedarf zugeordnet wird und wenn die Anlieferung sofort beginnt. Bei Z^M 1604 beispielsweise wird die Produktion von 30 Einheiten in der ersten Periode den ersten drei Bedarfen des Verteilzentrums 1206 (s. Fig. 12) zugeordnet. Wenn alle 3 zugeordneten Anlieferungen sofort beginnen, d. h. in dieser ersten Produktionsperiode, dann findet ein Gesamttransport von 30 Einheiten zu dem Verteilzentrum 1206 statt. Der Transportplan Z^M 1604 reicht für das maximale monotone

Reichweitenprofil aus; er bildet aber eine tatsächliche globale Reichweite (das heißt das Minimum der tatsächlichen Reichweite der Verteilzentren) von R^M , 1606, der kleiner ist als der maximal mögliche Bereich R 1608 (bei der Zuordnung Z). Mit anderen Worten, der Plan Z^M 1604 ist für den maximalen monotonen Bereich sehr gut (er ist *monoton-optimal*), ist aber nicht völlig optimal.

Ein optimaler Transportplan für die erste Periode ergibt sich wie folgt: Die Zuordnung von Angebot der ersten Periode sollte keinen negativen Effekt auf den Bereich in sämtlichen Perioden haben. Durch die folgende Annahme kann der Aufwand einer derartigen Suche gemäß diesem Plan wesentlich reduziert werden. Um den monotonen optimalen Transportplan der ersten Periode zu erhalten, reicht es aus, die Suche nach dem maximalen Bereichsprofil auf solche Profile zu beschränken, die nur in dem Anfangsbereich nicht konstant sind, das heißt bei $t \leq \max_{i,j}\{T_{ij}\}$ mit T_{ij} Transportzeit zwischen den Knoten i und j . Man muß das Reichweitenprofil nur bis zu der Periode der maximalen Transportzeit erhöhen; in allen folgenden Perioden kann das Profil einen konstanten Wert aufweisen.

Wenn bei der Bestimmung des Optimierungsnetzwerkes nicht der gesamte Horizont H betrachtet wird, sondern nur die Perioden $t \leq H_{kurz}$ bis zu einem bestimmten Zeitpunkt $H_{kurz} < H$, das heißt wenn bei $t \leq H_{kurz}$ lediglich Angebot $s_i(t)$ und Bedarf $d_i(t)$ berücksichtigt werden, dann liefert das Optimierungsnetzwerk ein maximales Reichweitenprofil R_{max}^{kurz} , das in jeder Periode mindestens so groß ist wie

das maximale Profil R_{\max} über den gesamten Horizont hinweg:

$$\forall t \leq H_{\text{kurz}} : R_{\max}^{\text{kurz}}(t) \geq R_{\max}(t).$$

5 SCHNELLE BEREICHSPROFILSUCHE

Nachdem der kurze Horizont definiert worden ist, soll er auf eine Periode verkürzt werden. Das resultierende Optimierungsnetzwerk (das nur dann sinnvoll ist, wenn es möglich ist, den Transport in einer Periode auszuführen), ist sehr klein, und die Bogenflüsse können sehr schnell berechnet werden. Die maximale Reichweite in Periode 1 wird durch eine binäre Suche ermittelt. In dem nächsten Schritt wird die zweite Periode hinzugefügt, und es wird versucht, über beide Perioden hinweg ein maximales Bereichsprofil zu finden. Dabei wird das Reichweitenprofil aus dem ersten Schritt, das bis jetzt nur für die erste Periode gilt, beibehalten, und die zweite Periode wird mit dem Wert der vorausgegangenen Periode (in diesem Fall der ersten) initialisiert. Falls eine Lösung für dieses Profil gefunden wird, kann die Reichweite der zweiten Periode wieder unter Verwendung einer binären Suche maximiert werden, usw. Falls für einen kurzen Horizont H_{kurz} die Reichweite $R(H_{\text{kurz}})$ von $R(H_{\text{kurz}}-1)$ übernommen wird, das heißt falls keine Lösung gefunden wird, wird die Reichweite in der Periode H_{kurz} um eine Periode gesenkt. Das resultierende Profil wird immer monoton gehalten, das heißt in allen Perioden $t < H_{\text{kurz}}$ wird die Reichweite auf $R(t) = \min\{R(t), R(H_{\text{kurz}})\}$ gesetzt. Spätestens jetzt muß eine Lösung möglich sein, da sich eine Reichweite von

$R(H_{kurz}) = R(H_{kurz} - 1) - 1$ aus dem Bereich $R(H_{kurz} - 1)$ in
 Periode H_{kurz} ergibt. Nun wird nochmals versucht, den
 Wert dieser und der folgenden Perioden zu erhöhen,
 beginnend mit der ersten Periode, in der bei diesem
 5 Schritt eine Reichweite verändert wurde. Der
 betrachtete Horizont bleibt bei H_{kurz} . Nachdem $T_{max} =$
 $\max_j \{T_{ij}\}$ mit dem kurzen Horizont bestimmt wurde,
 werden im nächsten Schritt alle darauffolgenden
 Perioden wie eine einzige Periode behandelt. Der
 10 betrachtete Horizont wird auf den Gesamthorizont
 erweitert, und alle folgenden Perioden werden auf den
 Wert $R(H_{kurz})$ gesetzt. Nach diesem Schritt ist das
 Verfahren beendet, und das maximale monotone Profil
 ist gefunden worden. Es steigt bis zu einem Punkt T_{max}
 15 an und bleibt danach konstant.

FIG. 17 zeigt ein Beispiel gemäß dem
 erfindungsgemäßen Verfahren. Schritt 4 1702 zeigt
 einen Rückschritt. Die Reichweite in Periode
 (Zeitintervall) 4 kann nicht auf dem Wert aus Periode
 20 3 gehalten werden und wird deshalb auf einen Wert von
 1,25 reduziert. Alle vorherigen Perioden mit einem
 größeren Bereich werden auf diesen Bereich reduziert.
 Danach beginnt man wieder, den Bereich der betroffenen
 Periode zu vergrößern. In jedem Schritt stellt der in
 25 der letzten Periode des gerade betrachteten Horizonts
 für die Reichweite gefundene Wert, das heißt $R(H_{kurz})$,
 eine Obergrenze für die Reichweite dar, die in dieser
 Periode erreicht werden kann. Da das maximale monotone
 Profil auch Transportpläne toleriert, die es unmöglich
 30 machen, ein allgemeines maximales Profil
 (beispielsweise in diesem Abschnitt) zu erreichen,
 kann man diese Grenzwerte verwenden, um einen

möglichen Fehler in dem berechneten monotonen Profil sichtbar zu machen und möglicherweise darauf interaktiv zu reagieren.

Ist $Opt(H)$ die Laufzeit des Transportoptimierers für den Horizont H , dann ist die Laufzeit im ungünstigsten Fall:

$$O(\log(R_{\max}/R_{\min}) \cdot T_{\max} \cdot Opt(H_{\max})).$$

R_{\max} ist die maximale Reichweite, die in einer Periode auftreten kann, R_{\min} ist die Genauigkeit (Granularität), mit der diese Reichweite bestimmt werden kann, T_{\max} ist die maximale Transportzeit zwischen zwei Knoten (bei der langsamsten Transportart) und H_{total} ist der Gesamthorizont (für die Gesamtlaufzeit einschließlich der Laufzeit für den Transportoptimierer).

Bei der praktischen Anwendung stellte es sich heraus, daß ein Rücksetzschrift kaum erforderlich ist. Wenn man davon ausgeht, daß Engpässe mit größerer Wahrscheinlichkeit am Anfang auftreten und daß das Produktionsvolumen insgesamt das Bedarfsvolumen geringfügig übersteigt (Push-Distribution), dann findet in dem letzten Schritt (in dem alle Perioden nach T_{\max} in das Optimierungsnetz aufgenommen sind) kein Rücksetzschrift statt, und die Anzahl der Aufrufe des Transportoptimierers beträgt nur $\log(R_{\max}/R_{\min})$ für den Gesamthorizont. Dann ergibt sich zusammen mit dem Aufwand für den Anfangsbereich folgende Laufzeit:

$$O(\log(R_{\max}/R_{\min}) \cdot (T_{\max} \cdot Opt(T_{\max}) + Opt(H_{\text{total}})))$$

Das erfindungsgemäße Verfahren erzeugt schnell einen monotonen optimalen Transportplan für die erste Periode.

5 NICHT AUSREICHENDES ANGEBOT

In dem vorausgegangenen Abschnitt wurde angenommen, daß die Produktion immer ausreicht, um alle Bedarfe immer zeitig abzudecken. Dies ist natürlich nicht immer der Fall. Wenn ein nicht ausreichendes Angebot
10 vorliegt, muß die Bedarfssituation auf geeignete Weise gelockert werden. Dies kann auf zweierlei Weise geschehen:

1. der Bedarf selber wird reduziert, das heißt einige wenige Kundenaufträge werden nur teilweise oder
15 überhaupt nicht ausgeführt.
2. Es wird eine Verzögerung bei der Erfüllung der Aufträge gestattet.

Auch können beide Varianten kombiniert werden. Eine Kombination ist insbesondere dann sinnvoll, wenn ein
20 nicht ausreichendes Angebot nicht lediglich ein kurzfristiges Problem ist, das heißt wenn die Produktion allgemein unter dem Bedarf liegt. In dieser Situation würden sich Verzögerungen ohne Bedarfskürzung weiterhin anhäufen.

25

BEDARFSKÜRZUNG

Wenden wir uns nun dem ersten Fall zu (keine Verzögerung). Um den Bedarf auf geeignete Weise zu
30 verkürzen, werden Kundenaufträgen unterschiedliche Prioritäten zugewiesen. Eine Bestellung $o_i^p(t)$ des Verteilnetzknotens i in der Periode t wird zusätzlich mit ihrer Priorität P markiert. Die unwichtigen Prioritätsklassen (das heißt Aufträge in diesen

Klassen) werden soweit gestrichen, bis das zur Verfügung stehende Materialvolumen ausreicht, die noch verbleibenden Aufträge rechtzeitig zu erfüllen. Es wird der gleiche erfindungsgemäße Ansatz wie
5 vorgenannt erwähnt. Der ganzzahlige Teil $\lfloor R(t) \rfloor$ spezifiziert die Anzahl der Prioritätsklassen, deren Aufträge vollständig erfüllt werden. Der rationale Teil $R(t) - \lfloor R(t) \rfloor$ ist derjenige Teil, der von der nächsten Prioritätsklasse erfüllt wird. Zum Beispiel
10 werden 4 Prioritätsklassen definiert:

1. P_{hoch} : Kundenbedarfe mit hoher Priorität.
2. P_{normal} : Kundenbedarfe mit normaler Priorität.
3. P_{niedrig} : Kundenbedarfe mit niedriger Priorität.
4. $P_{\text{prognostiziert}}$: Zusätzlicher Bedarf, der nur
15 prognostiziert ist, aber noch nicht von einem Kunden bestellt worden ist

Ein Abdeckungsbereich $R(t) = 2,7$ würde bedeuten, daß zum Zeitpunkt t alle Bedarfe für Kunden mit hoher und normaler Priorität erfüllbar sind. Für Kunden mit
20 niedriger Priorität beträgt der Erfüllungsgrad 70 %.

Die erfindungsgemäße Definition eines maximalen Reichweitenprofils garantiert, daß kein Bedarf mit höherer Priorität zuungunsten eines Bedarfs mit niedrigerer Priorität erfüllt wird.

25

ANLIEFERUNG MIT VERZÖGERUNG

Bei den obigen Überlegungen war keine verzögerte Anlieferung gestattet. Dies bedeutet, daß immer dann,
30 wenn ein Auftrag nicht rechtzeitig angeliefert werden konnte, er überhaupt nicht angeliefert wurde. Beispiel: Wenn ein Bedarf hoher Priorität für $t = 1$ und einen Bedarf niedriger Priorität für $t = 2$ vorliegt und wenn das erste Angebot bei $t = 2$ ankommt,

dann wird der Bedarf mit niedriger Priorität das ganze Angebot erhalten, aber der Bedarf mit hoher Priorität wird nichts erhalten.

- 5 Dieses Problem wird erfindungsgemäß durch Einführen zusätzlicher Bögen mit reduzierter Transportzeit gelöst. Die Anlieferung mit einer Verzögerungszeit Δ entspricht der Reduzierung der entsprechenden Transportzeit um Δ .

10

Für diese zusätzlichen Bögen werden die Kosten wie folgt definiert:

15
$$\text{Strafe} = \Delta^2 * 2C_{\max}$$

Δ : die Verzögerungszeit

C_{\max} : maximalen Kosten der Bögen ohne Verzögerungszeit

- 20 Der Ausdruck $2 C_{\max}$ garantiert, daß durch einen Wechsel, d.h. durch Vertauschen der Zuordnung

$$s_i(t_i) \rightarrow d_j(t_j) \text{ und } s_i(t_i) \rightarrow d_j(t_j)$$

durch $s_i(t_i) \rightarrow d_j(t_j)$ und $s_i(t_i) \rightarrow d_j(t_j)$, eine Verzögerung nicht verhindert werden kann.

25

Wenn es bei den vertauschten Zuordnungen keine Verzögerungen gibt, dann sind ihre Kosten $\leq 2C_{\max} < \Delta^2 + 2C_{\max}$ und somit billiger als die Zuordnungen ohne eine Verzögerung. Der Optimierer wird aus diesem Grund
30 niemals eine Lösung mit einer Verzögerung produzieren, die durch einen Tausch verhindert werden könnte.

Analog dazu garantiert der Ausdruck Δ^2 , daß eine lange Verzögerung durch einen Tausch nicht verkürzt werden kann.

5 BESCHREIBUNG DER PROJEKTION DES DEPLOYMENTPROBLEMS IN
DAS VERTEILUNGSPROBLEM.

Im weiteren wird die Darstellung der bisher hinsichtlich des Transportproblems gezeigten Verteilungsprobleme nochmals in mathematischer Form
 10 zusammengefaßt.

FALL 1: ÜBERANGEBOT

VORAUSGEHENDE BERECHNUNG

Zuerst müssen Produktion und Bedarf des Optimierungsnetzwerks berechnet werden:

15 Verteilzentren:

$$D_j(t) = \sum_P o_j^P(t) - tr_j(t) + L_j(t-1) - L_j(t)$$

20 Falls $D_i(t) > 0$, dann gilt

$$d_i(t) = D_i(t) \quad \{\text{Bedarfsknoten}\}$$

$$\text{Sonst gilt } s_i(t) = -D_i(t) \quad \{\text{Angebotsknoten}\}$$

25 mit einem angestrebten Lagerbestand der Verteilzentren:

$$L_j(t) = (1 - R(t) - L_j(t)) \cdot L'_j(t, L_j(t)) + (R(t) - L_j(t)) \cdot L'_j(t, R(t))$$

$$30 \quad L'_j(t, r) = m_j(t+r) + \sum_{\tau=t+1}^{t+r} \sum_P o_j^P(\tau)$$

Herstellungsanlagen:

$$35 \quad s_i(0) = p_i(0) + L^{\text{anfänglich}}$$

$$\forall t > 0: s_i(t) = P_i(t)$$

DAS OPTIMIERUNGSPROBLEM

Minimiere:

5

Transportkosten =

$$\sum_{i,j} \left(\sum_{\substack{t_j - t_i \geq T_{ij} \\ \text{Drehzahl}}} y_{i,j,t_j} \cdot C_{ij}^{\text{Drehzahl}} + \sum_{\substack{D < D_{\text{Langsame}} \\ T_{ij} \leq t_j - t_i < T_{ij} \\ \text{Langsame}(D)}} y_{i,j,t_j} \cdot C_{ij}^D + \sum_{\substack{t_j - t_i \geq T_{ij} \\ \text{Drehzahl}}} y_{i,j,t_j} \cdot C_{ij}^{\text{Drehzahl}} \right)$$

Unter den folgenden Nebenbedingungen:

$$10 \quad \text{Beschränktes Angebot:} \quad \forall i : s_i(t_i) = \sum_{j \in \mu_j} y_{i,j,t_j}$$

$$\text{Beschränkter Bedarf:} \quad \forall j : d_j(t_j) = \sum_{i \in \mu_i} y_{i,j,t_j}$$

FALL 2A: VERRINGERUNG DES BEDARFS BEI UNTERANGEBOT15 VORAUSGEHENDE BERECHNUNG

Zunächst müssen wieder Produktion und Bedarf des Optimierungsnetzes berechnet werden:

Verteilzentren:

20

$$D_j(t) = \frac{\sum_{P \leq P[R(t)]} o_j^P(t) - tr_j(t) + L_j(t-1) - L_j(t)}{P \leq P[R(t)]}$$

Falls $D_i(t) > 0$, dann gilt $d_i(t) = D_i(t)$ {Bedarfsknoten}

25

Sonst gilt $s_i(t) = -D_i(t)$ {Angebotsknoten}

bei einem angestrebten Lagerbestand der Verteilzentren:

30

$$L_j(t) = (1 - R(t) - \lfloor R(t) \rfloor) \cdot L'_j(t, \lfloor R(t) \rfloor) + (R(t) - \lfloor R(t) \rfloor) \cdot L'_j(t, \lceil R(t) \rceil)$$

$$L'_j(t, r) = \sum_{\tau=t+1}^{t+r} \sum_{P \leq P[R(t)]} o_j^P(\tau)$$

35

Anmerkung: Der ganzzahlige Teil $\lfloor R(t) \rfloor$ spezifiziert die Anzahl der Prioritätsklassen, deren Aufträge

vollständig erfüllt werden. Der rationale Teil $R(t) - \lfloor R(t) \rfloor$ ist derjenige Teil, der von der nächsten Prioritätsklasse erfüllt wird.

5 **Herstellungsanlagen:**

$$s_i(0) = p(0) + L^{\text{anfänglich}}$$

$$\forall t >: s_i(t) = P_i(t)$$

10 **DAS OPTIMIERUNGSPROBLEM**

Minimiere:

Transportkosten =

$$\sum_{i,j} \left(\sum_{\substack{t_j - t_i \geq T_{ij} \\ D_{\text{Schnellste}}}} y_{i,j,t_j} \cdot C_{ij}^D + \sum_{\substack{D < D_{\text{Schnellste}} \\ T_{ij}^D: s_{t_j} - t_i < T_{ij}^D}} y_{i,j,t_j} \cdot C_{ij}^D + \sum_{\substack{t_j - t_i \geq T_{ij} \\ D_{\text{Langsamste}}}} y_{i,j,t_j} \cdot C_{ij}^O \right)$$

15 **Unter den folgenden Nebenbedingungen:**

Beschränktes Angebot: $\forall i: s_i(t_i) = \sum_{j \in J_i} y_{i,j,t_j}$

Beschränkter Bedarf: $\forall j: d_j(t_j) = \sum_{i \in I_j} y_{i,j,t_j}$

FALL 2B: VERZÖGERUNG MIT UNTERANGEBOT

20 **VORAUSGEHENDE BERECHNUNG**

Wieder müssen auf die gleiche Weise wie oben Produktion und Bedarf des Optimierungsnetzes zunächst berechnet werden, nur ändert sich die Optimierungsfunktion durch Belegen der Verzögerungsbögen mit Strafkosten. Es können auch die zeitlichen Verzögerungen durch Einführung lediglich dieser zusätzlichen Bögen mit einer annehmbaren Verzögerung begrenzt werden.

30

DAS OPTIMIERUNGSPROBLEM

Minimiere:

Kosten = Transportkosten + Verzögerungsstrafkosten

Transportkosten =

$$5 \quad \sum_{i,j} \left(\sum_{t_j - t_i \geq T_{ij}^{\text{schnellste}}} y_{i,j,t_j} \cdot C_{ij}^D + \sum_{D < D_{\text{schnellste}}} \sum_{T_{ij}^D \leq t_j - t_i < T_{ij}^{\text{schnellste}}} y_{i,j,t_j} \cdot C_{ij}^D + \sum_{t_j - t_i \geq T_{ij}^{\text{schnellste}}} y_{i,j,t_j} \cdot C_{ij}^0 \right)$$

Verzögerungsstrafkosten:

$$\sum_{i,j} \left(\sum_{t_j - t_i < T_{ij}^{\text{schnellste}}} (t_i + T_{ij}^D - t_j)^2 \cdot 2C_{\text{max}} \cdot y_{i,j,t_j} \right)$$

10 Unter den folgenden Nebenbedingungen:

Beschränktes Angebot: $\forall i : s_i(t_i) = \sum_{j,t_j} y_{i,j,t_j}$ Beschränkter Bedarf: $\forall j : d_j(t_j) = \sum_{i,t_i} y_{i,j,t_j}$

15 Maximalverzögerungsbeschränkung:

$$\forall i, t_i, j, t_j : y_{i,j,t_j} \text{ definiert} \Leftrightarrow t_i + T_{ij}^{\text{Reichweite}} - t_j \leq A_{j,t_j}$$

VARIABLE UND KONSTANTE

Freie Entscheidungsvariablen:

20 y_{i,j,t_j} = Teil des Angebots von Anlage oder Werk
i zum Zeitpunkt t_i der dem Bedarf des
 Verteilzentrums *j* zum Zeitpunkt t_j
 zugeordnet ist

25 Gebundene Variablen (mit beschränkter Entscheidung $R(t)$
 zu

maximieren):

$R(t)$ = Reichweite aller Verteilzentren zum
 Zeitpunkt t

30 $L_j(t)$ = Angestrebter Bestand im Verteilzentrum *j*

zum Zeitpunkt t (als Funktion der Reichweite $R(t)$)

$s_i(t)$ = Angebot des Knotens (Produktionswerk) i zum Zeitpunkt t

5 $d_j(t)$ = Bedarf bei Knoten (Verteilzentrum) j zum Zeitpunkt t

Konstanten:

10 $P_i(t)$ = Produktionsrate in Produktionsanlage i zu einem bestimmten Zeitpunkt t

$tr_i(t)$ = Zuvor festgelegtes Angebot (im Durchgang) im Verteilzentrum oder zentralen Lagerhaus j zum bestimmten Zeitpunkt t

15 $L_i^{\text{anfänglich}}$ = $tr_i(0)$ = anfänglicher Bestand in Produktionsanlage i oder Verteilzentrum i

20 P = Bedarfspriorität $P, P \in \{P_{\text{hoch}}, \dots, P_{\text{prognostiziert}}\} = \{1, 2, 3, \dots\}$ wobei $P_{\text{hoch}} = 1 < \dots < P_{\text{prognostiziert}}$

$o_j^P(t)$ = Auftrag (=angehäufter Bedarf) für Prioritätsklasse P für Verteilzentrum j zum Zeitpunkt t

25 $m_j(t)$ = Sicherheitslagerbestand im Verteilzentrum j zum Zeitpunkt t

D = Transportart
 $D \in \{\text{langsamste}, \dots, \text{schnellste}\}$

30 C_{ij}^D = Transportkosten für Transport einer Materialeinheit mit Transportart D

- zwischen Knoten i und j
- T_{ij}^D = Transportzeit für den Transport einer Materialeinheit mit Transportart D zwischen Knoten i und j
- 5 $D_{\text{schnellste}}$ = Schnellste Transportart: $\forall D, i, j:$
 $T_{ij}^{D_{\text{schnellste}}} \leq T_{ij}^D$
- $D_{\text{langsamste}}$ = Langsamste Transportart: $\forall D, i, j: T_{ij}^{D_{\text{langsamste}}}$
- $\text{langsamere}(D)$ = Nächstlangsamste Transportart nach Transportart D :
- 10 $\neg \exists D': [\forall i, j: T_{ij}^D \leq T_{ij}^{D'} < T_{ij}^{\text{langsamere}(D)}]$
- A_{j, t_i} = Maximal zulässige Verzögerung eines Bedarfs vom Verteilzentrum j zu einem bestimmten Zeitpunkt t_i

15

ALGORITHMEN

Nachdem die Formulierung des Problems erfolgt ist, wird der anzuwendende Algorithmus erörtert. Die grundlegende Idee des Algorithmus besteht darin, das

20 Reichweitenprofil $R(t)$ solange inkremental zu mutieren, bis das optimale Profil ermittelt ist. Die grundlegenden Verfahrensschritte des Algorithmus umfassen die folgenden Punkte:

1. Initialisieren des Reichweitenprofils $R(t)$
- 25 (z.B. $R(t)=1$).
2. Berechnen der erforderlichen Bedarfe $d_j(t)$ in den Bedarfsknoten, um Profilbeschränkungen zu erfüllen.
3. Konstruieren des preiswertesten Fluß für diese
- 30 Bedarfe unter Verwendung eines beliebigen Minimalkostenflußalgorithmus.
4. Wenn keine Lösung gefunden wird, Verkleinern des

Reichweitenprofils $R(t)$, ansonsten Vergrößern des Reichweitenprofil $R(t)$.

5. Zurückgehen zu Schritt 2, wenn die optimale Lösung nicht gefunden wird.

5

Schritt 2 ist der gleiche für alle Algorithmen, wie in den Abschnitten oben beschrieben:

$$d_j(t) = \sum_P o_j^P(t) - \pi_j(t) + L_j(t-1) - L_j(t)$$

10 wobei $L_j(t) = (1 - R(t) - L(R(t))) \cdot L'_j(t, L(R(t))) + (R(t) - L(R(t))) \cdot L'_j(t, R(t))$

$$L'_j(t, r) = m_j(t+r) + \sum_{\tau=t+1}^{t+r} \sum_P o_j^P(\tau)$$

15

Verschiedene erfindungsgemäße Alternativen zu Schritt 4 werden in dem folgenden Abschnitt vorgeschlagen. Zunächst wird das Gesamtproblem erörtert, d.h. die effiziente Konstruktion eines maximalen Bereichs von Reichweitenprofilen. Dieser Algorithmus kann durch die Einschränkung auf einen monotonen Bereich von Reichweitenprofilen, der unten beschrieben wird, beträchtlich beschleunigt werden. Im folgenden wird ein schneller Algorithmus für monotone Profile für die Maximierung des Reichweitenprofils angegeben.

A. MAXIMALER BEREICH DES ABDECKUNGSPROFILS

Zum Konstruieren des maximalen (ganzzahligen) Bereichs des Reichweitenprofils wird das tatsächliche Profil immer dann iterativ um 1 vergrößert, wenn dies für jeden Zeitschritt, der den gesamten Planungshorizont mehrmals überstreicht, möglich ist.

Algorithmus für Schritt 4

35

```
While Profile_enlarged do begin
    {Den Planungshorizont überstreichen}
```

```

        enlarged = false;

        for all t (Planungshorizont) do begin
             $R(t) := R(t) + 1$ ;                                {R vergrößern}
5      Generate min_cost_flow problem  $F(R)$  for profile  $R(t)$ 
                                                (= 2. Schritt (s.o.))

        If min_cost_flow ( $F(R)$ ) solvable
            then enlarged = true
            else  $R(t) := R(t) - 1$                                 {Rücksetzen};
10      end;
        end;

```

Die Verallgemeinerung zum Vergrößern des Profils um eine kleinere Schrittweite $\Delta < 1$ anstatt 1 ergibt:

15

Algorithmus von Schritt 4 mit Schrittweite Δ für Profil R

```

        While Profile_enlarged do begin
20      {Den Planungshorizont überstreichen}
            enlarged = false;

            for all  $t \leq$  Planungshorizont do begin
                 $R(t) := R(t) + \Delta$ ;                                {R vergrößern}
25      Generate min_cost_flow problem  $F(R)$  for profile  $R(t)$ 
                                                (= 2. Schritt (s.o.))

                if min_cost_flow ( $F(R)$ ) solvable
                    then enlarged = true
                    else  $R(t) := R(t) - \Delta$                                 {Rücksetzen};
30      end;
        end;

```

B. MAXIMALER MONOTONER BEREICH VON REICHWEITENPROFILEN

Die grundlegende Idee besteht darin, das Problem induktiv zu lösen:

- Initialisieren mit einem leeren Profil.
- Konstruieren einer Lösung für t Zeitschritte und diese Lösung für $t+1$ Zeitschritte verbessern.
- Bis $t = \text{Planungshorizont}$ iterieren.

10

Algorithmus für Schritt 4

Initialize $R(t)$: $\forall t: R(t) = 0$

$t=t_0$; {Planungsstartzeitpunkt}

```
While t < Planungshorizont do begin
```

15 {Induktionsschritt}

$$R(t+1)=R(t);$$

Generate min_cost_flow problem $F(R)$ for profile $R(t)$
 {= 2. Schritt (s.o.)}

```

20      If min_cost_flow ( $F(R)$ ) solvable

```

```
Then Begin                                {R(t+1)}
vergrößern}
```

Repeat

$$R(t+1) := R(t+1) + 1;$$

```

25      Generate min_cost_flow problem  $F(R)$  for
      profile  $R(t)$ 

```

Until min_cost flow ($F(R)$) not solvable

$$R(t+1) := R(t+1) - 1 \quad \{\text{Rücksetzen}\}$$

End

```
30      Else {R verkleinern}
```

Repeat

$$R^{max}=R(t+1)$$
$$t_R = \min\{t \mid R(t) = R^{\max} - 1\};$$

$$\forall t' > t_R: R(t') = R^{max} - 1;$$

Generate min_cost_flow problem $F(R)$ for
profile $R(t)$

Until min_cost_flow ($F(R)$) solvable

5

Algorithmus für Schritt 4 - monotoner Bereich von
Reichweitenprofilen mit Schrittweite Δ

Die Verallgemeinerung zum Vergrößern des Profils um einen
10 kleineren Schritt $\Delta < 1$ anstatt 1 ergibt:

Initialize $R(t)$: $\forall t: R(t) = 0$

$t = t_0$; (Planning_Start)

While $t < \text{Planungshorizont}$ do begin

15 {Induktionsschritt}

$R(t+1) = R(t)$;

Generate min_cost_flow problem $F(R)$ for profile $R(t)$

{= 2. Schritt

(s.o.)}

20

If min_cost_flow ($F(R)$) solvable

Then Begin

{ $R(t+1)$ vergrößern}

Repeat

$R(t+1) := R(t+1) + \Delta$;

25

Generate min_cost_flow problem $F(R)$ for profile

$R(t)$

Until min_cost_flow ($F(R)$) not solvable

$R(t+1) := R(t+1) - \Delta$

{rücksetzen}

End

30 Else

{ R verkleinern}

Repeat

$R^{max} := R(t+1)$;

$t_R = \min\{t' / R(t') > R^{max} - \Delta\}$

$$\forall t' \geq R: R(t') = R^{max} - \Delta;$$

Generate min_cost_flow problem $F(R)$ for
profile $R(t)$

Until min_cost_flow($F(R)$) solvable

5

C. EFFIZIENZVERBESSERUNG FÜR ROLLENDES PLANUNGSSCHEMA

Für das rollende Planungsszenarium muß lediglich bekannt sein, wohin die Produktion zum Startzeitpunkt t_0 , versandt werden soll, d.h. die Versandplanung $y_{it_0+jt_j}$ zum Zeitpunkt t_0

10 sollte auf eine optimale Planung erweiterbar sein, allerdings ist die Versandplanung für die folgenden Zeitschritte möglicherweise nicht optimal. Sie werden erfindungsgemäß durch Verschiebung des Planungsfensters korrigiert.

15 Im folgenden werden die Reichweitenprofile auf den folgenden Typ eingeschränkt: Gleichmäßig bis zur maximalen Transportzeit t_{max} und konstant nach t_{max} . Solange dieses monotone Profil unlösbar ist, wird der letzte konstante Funktionsteil verringert.

20 Algorithmus für Schritt 4 - rollendes Planungsschema

Vorgegeben ist die maximale Transportzeit, i.e. t_{max}

Ermittle das maximale monotone Reichweitenprofil $R^{max}(t)$
25 innerhalb des Planungsfensters [planning_start,
planning_start+ t_{max}];

Initialisiere $R(t)$: {konstante Fortsetzung von R }

$$\forall t \leq t_{max}: R(t) = R^{max}(t)$$

30 $\forall t > t_{max}: R(t) = R^{max}(t_{max});$

$R^{max} := R^{max}(t_{max});$ {letzten konstanten Teil von R
verändern}

Bestimme min_cost_flow problem $F(R)$ für das Profil $R(t)$
 While min_cost_flow($F(R)$) not solvable do begin
 $t_R = \min\{t \mid R(t) \geq R^{\max} - 1\}$
 $\forall t \geq t_R: R(t) = R^{\max} - 1;$
 5 $R^{\max} = R^{\max} - 1$
 Bestimme min_cost_flow problem $F(R)$ für das Profil $R(t)$
 End;

VERALLGEMEINERUNGEN

Zum Konstruieren von nicht ganzzahligen Kapazitätsprofilen
 10 muß die Schrittweite Δ der möglichen Werte für den Bereich
 des Abdeckungsprofils $R(t)$ begrenzt werden. Wenn die
 Schrittweite Δ klein ist, sind viele Iterationen
 erforderlich, bis das maximale Profil gefunden ist. In den
 folgenden Abschnitten wird beschrieben, wie die Suche nach
 15 maximalen monotonen Profilen durch einen binären Suchprozeß
 beschleunigt werden kann.

1. BINÄRE SUCHE NACH MAXIMALEN MONOTONEN PROFILEN

Bei dem Algorithmus für den maximalen monotonen Bereich von
 20 Abdeckungsprofilen mit Schrittweite Δ werden zwei Teile
 berücksichtigt: " $R(t)$ vergrößern" and " $R(t)$ verkleinern".
 In beiden Fällen wird die Suche nach der optimalen
 Abstimmung des letzten konstanten Teils des
 Kapazitätsprofils unter Verwendung einer binären Suche
 25 beschleunigt. Eine einfache Erweiterung des
 erfindungsgemäßen Algorithmus mit einem binären Suchprozeß
 wird nachfolgend angegeben. Aus Gründen der Deutlichkeit
 sind alternative Varianten ausgelassen (z.B. Wahl der
 Schrittweite δ der binären Suche mit durch Erfahrung
 30 gelernten Werten anstelle des kleinstmöglichen Werts $\delta = \Delta$).

ALGORITHMUS FÜR SCHRITT 4 - MONOTONER BEREICH VON
ABDECKUNGSPROFILIEN MIT SCHRITTWEITE Δ (BINÄRE SUCHE)

```

5  Initialize  $R(t)$ :       $\forall t: R(t)=0$ 
                                $t=t_0$ ; {Planungsstartzeitpunkt}
While  $t < \text{Planungshorizont}$  do begin
    {Induktionsschritt}
     $R(t+1)=R(t)$ ;
10  Generate min_cost_flow problem  $F(R)$  for profile  $R(t)$ 
    {=Schritt 2}

    If min_cost_flow ( $F(R)$ ) solvable

15  Then Begin                { $R(t+1)$  vergrößern}
     $\delta:=\Delta$ ;
    Repeat                    {binäre Suche- $\delta$ 
vergrößern}
         $R(t+1):=R(t+1)+\delta$ 
20     $\delta:=2*\delta$ ;
        Generate min_cost_flow problem  $F(R)$  for profile
         $R(t)$ 
        Until min_cost_flow ( $F(R)$ ) not solvable
    Repeat                    {binäre Suche- $\delta$ 
25  verkleinern}
         $R(t+1):=R(t+1)+\delta$ ;
         $\delta:=\delta/2$ ;
        Generate min_cost_flow problem  $F(R)$  for profile
         $R(t)$ 
30  If min_cost_flow ( $F(R)$ ) solvable
        Then  $\delta:=\delta/$ 
        Else  $\delta:=-\delta/$ 

```

```

Until  $|\delta| = \Delta$ ;
If min_cost_flow (F(R)) not solvable
    Then  $R(t+1) := R(t+1) - \delta$ 
End
5 Else {R verkleinern}
     $\delta := \Delta$ ;

Repeat {binäre Suche- $\delta$  vergrößern}
10  $R^{max} := R(t+1)$ ;
     $\delta := 2 * \delta$ ;
     $t_R = \min\{t' / R(t') \geq R^{max} - \delta\}$ 
     $\forall t' \geq t_R: R(t') = R^{max} - \delta$ ;
    Generate min_cost_flow problem F(R) for profile
15 R(t)
    Until min_cost_flow (F(R)) solvable

    Repeat {binäre Suche- $\delta$ 
verkleinern}
20  $R^{max} := R(t+1)$ ;
     $\delta := \delta / 2$ ;
     $t_R = \min\{t' / R(t') \geq R^{max} - \delta\}$ 
     $\forall t' \geq t_R: R(t') = R^{max} + \delta$ ;
    Generate min_cost_flow problem F(R) for profile
25 R(t)
    If min_cost_flow (F(R)) solvable

        Then  $\delta := |\delta|$ 
        Else  $\delta := -|\delta|$ 

```

3. Wenn nicht das ganze Profil festgelegt wird, dann gehe zurück zu Schritt 1 (und löse den restlichen Teil).

Für Schritt 2 müssen die Zeitschritte t gewählt werden, bei denen

$$R^m(t) < R^m(t+1) \Rightarrow R^m(t) = R(t),$$

d.h. die stark monoton ansteigenden Teile des maximalen monotonen Bereichs des Reichweitenprofils können festgelegt werden. Außerdem kann auch das Ende des Planungshorizonts festgelegt werden:

$$R^m(\text{planning_end}) = R(\text{planning_end})$$

Deshalb kann das Planungsfenster mindestens um 1 reduziert werden (eventuell um mehr, wenn wir auch gewisse festgelegte, stark monoton ansteigende Teile von R^m reduzieren können). Damit ist sichergestellt, daß die obige Schleife höchstens T Schritte wiederholt wird, wobei $T = \text{planning_end} - \text{planning_start}$ (Anzahl der Zeitschritte in dem Planungsfenster), d.h. die zeitliche Komplexität wird durch $T \cdot O(R^m)$ begrenzt, wobei $O(R^m)$ die zeitliche Komplexität des Algorithmus für den maximalen monotonen Bereich des Abdeckungsprofils ist. Die algorithmische Komplexität steigt im Vergleich zu monotonen Profilen vorteilhaft höchstens um einen Faktor T , was es ermöglicht, auch umfangreiche Reichweitenprofile mit herkömmlichen Rechneranlagen überhaupt zu berechnen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Maximieren der Lagerreichweite von Abdeckungsprofilen, umfassend folgende Schritte:
 - 5 a. Bereitstellen einer Lagerreichweitenfunktion für das Abdeckungsprofil;
 - b. Initialisieren der Lagerreichweitenfunktion mit mindestens einem Startwertparameter;
 - 10 c. Ermitteln einer optimalen Lagerbestandsmenge zur Lösung der Lagerreichweitenfunktion für das Abdeckungsprofil, wobei das Berechnen folgende Schritte umfaßt:
 - 15 i. Anwenden eines Minimalkostenflußalgorithmus zum Bestimmen einer optimalen Transportlösung zum Transportieren der erforderlichen Bestandsmenge;
 - ii. Bestimmen, ob eine Lösung gefunden wurde, nachdem der Minimalkostenflußalgorithmus für den Bereich der Abdeckungsprofilfunktion mit dem Startwert angewendet wurde;
 - 20 iii. inkrementales Verkleinern des Startwerts, wenn keine Lösung bestimmt wurde, und Wiederholen des Berechnens einer Lösung, bis eine optimale Lösung für den Minimalkostenflußalgorithmus ermittelt wurde;
 - 25 d. inkrementales Vergrößern des Startwerts, wenn eine Lösung bestimmt wurde, und Wiederholen des Berechnens einer Lösung, bis das Berechnen einer Lösung zu einer optimalen Lösung für den Minimalkostenflußalgorithmus führt.
- 30 2. Verfahren zum Maximieren eines Bereichs von Abdeckungsprofilen nach Anspruch 1, weiterhin mit folgenden Schritten:
 - a. Ankoppeln an ein Online-

- Transaktionsverarbeitungssystem;
- b. Lesen von Transaktionsdaten von dem Online-
Transaktionsverarbeitungssystem; und
 - c. Eingeben der Transaktionsdaten für den Bereich der
5 Abdeckungsprofilfunktion.
3. Rechnerlesbares Medium mit mehreren darauf
gespeicherten Anweisungen, wobei die mehreren
Anweisungen Anweisungen enthalten, die bei
10 Ausführung durch einen Prozessor bewirken, daß der
Prozessor folgende Schritte durchführt:
- a. Ankoppeln an ein Online-
Transaktionsverarbeitungssystem;
 - b. Lesen von Transaktionsdaten von dem Online-
15 Transaktionsverarbeitungssystem;
 - c. Eingeben der Transaktionsdaten in die Funktion für
einen Bereich des Abdeckungsprofils;
 - d. Initialisieren der Funktion für einen Bereich des
Abdeckungsprofils mit einem Startwert;
 - 20 e. Berechnen einer erforderlichen Bestandsmenge zum
Erfüllen der Lagerreichweitenfunktion für das
Abdeckungsprofil;
 - f. Berechnen einer optimalen Lösung, wobei das
Berechnen folgende Schritte umfaßt:
 - 25 i. Anwenden eines Minimalkostenflußalgorithmus zum
Bestimmen einer optimalen Transportlösung zum
Transportieren der erforderlichen Bestandsmenge;
 - ii. Bestimmen, ob eine Lösung gefunden wurde,
nachdem der Minimalkostenflußalgorithmus für den
Bereich der Abdeckungsprofilfunktion mit dem
30 Startwert angewendet wurde;
 - iii. inkrementales Verkleinern des Startwerts, wenn
keine Lösung bestimmt wurde, und Wiederholen des
Berechnens einer Lösung, bis eine optimale

Lösung für den Minimalkostenflußalgorithmus
ermittelt wurde;

g. inkrementales Vergrößern des Startwerts, wenn eine
Lösung bestimmt wurde, und Wiederholen des
5 Berechnens einer Lösung, bis das Berechnen einer
Lösung zu einer optimalen Lösung für den
Minimalkostenflußalgorithmus führt.

4. System zum Maximieren der Lagerreichweite von
10 Abdeckungsprofilen, umfassend:
- a. Mittel zum Ankoppeln an ein Online-
Transaktionsverarbeitungs-system;
 - b. Mittel zum Lesen von Transaktionsdaten von dem
Online-Transaktionsverarbeitungssystem;
 - 15 c. Mittel zum Eingeben der Transaktionsdaten in die
Lagerreichweitenfunktion für das Abdeckungsprofil;
 - d. Mittel zum Initialisieren der Lagerreichweite der
Abdeckungsprofilfunktion mit einem Startwert;
 - e. Mittel zum Berechnen einer erforderlichen
20 Bestandsmenge zum Erfüllen der Funktion für eine
Lagerreichweite des Abdeckungsprofils;
 - f. Mittel zum Bestimmen einer optimalen Lösung,
umfassend:
 - i. Mittel zum Anwenden eines
25 Minimalkostenflußalgorithmus zum Bestimmen einer
optimalen Transportlösung zum Transportieren der
erforderlichen Bestandsmenge;
 - ii. Mittel zum Bestimmen, ob eine Lösung gefunden
wurde, nachdem der Minimalkostenflußalgorithmus
30 für den Bereich der Abdeckungsprofilfunktion mit
dem Startwert angewendet wurde;
 - iii. Mittel zum inkrementalen Verkleinern des
Startwerts, wenn keine Lösung bestimmt wurde,
und Wiederholen des Berechnens einer Lösung, bis

- eine optimale Lösung für den
Minimalkostenflußalgorithmus ermittelt wurde;
- g. Mittel zum inkrementalen Vergrößern des Startwerts,
wenn eine Lösung bestimmt wurde, und Wiederholen des
5 Berechnens einer Lösung, bis das Berechnen einer
Lösung eine optimale Lösung für den
Minimalkostenflußalgorithmus ergibt.

FIG.1

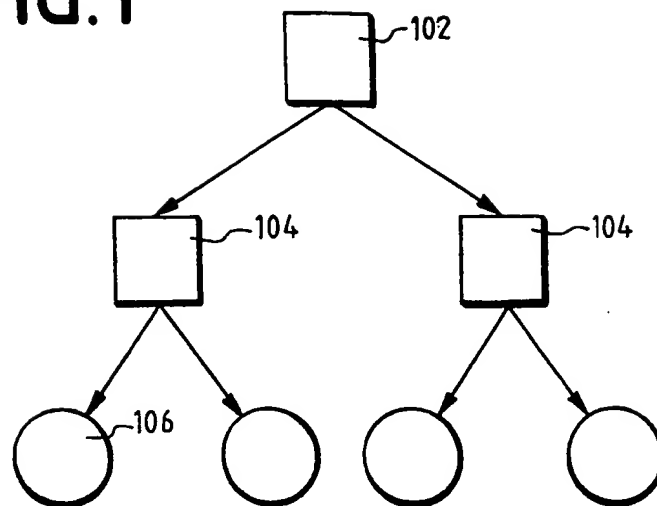


FIG.2

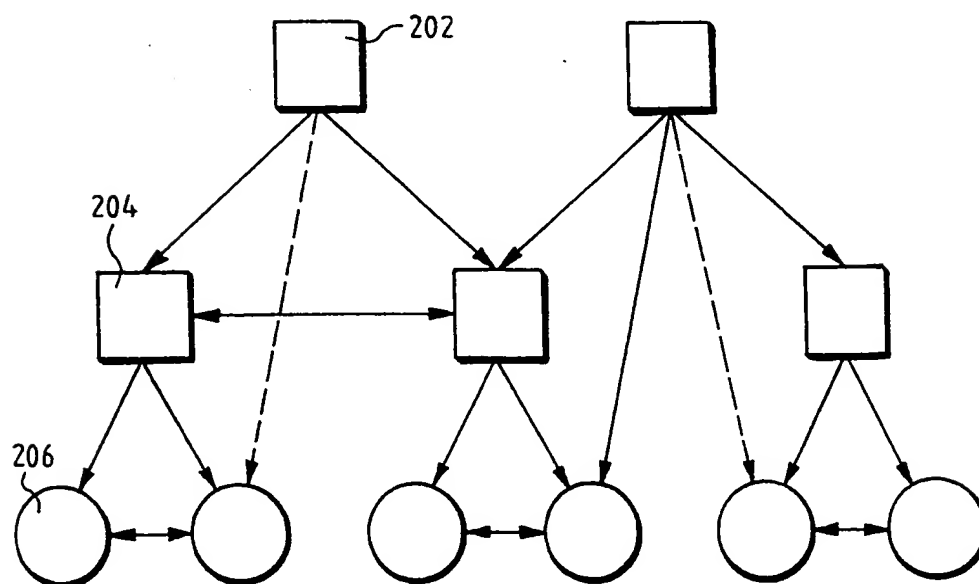


FIG.3

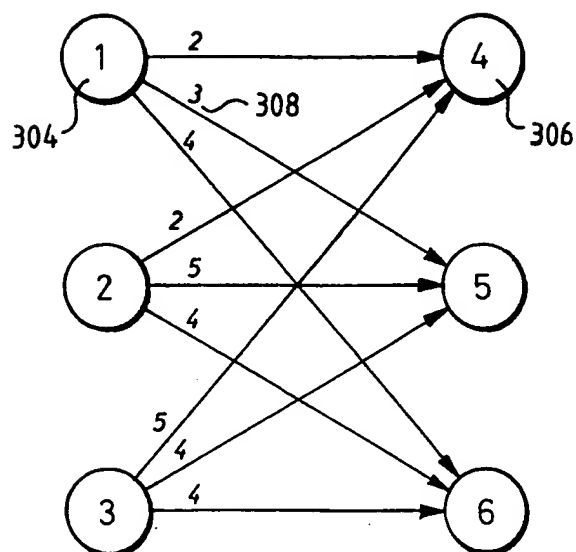


FIG.4

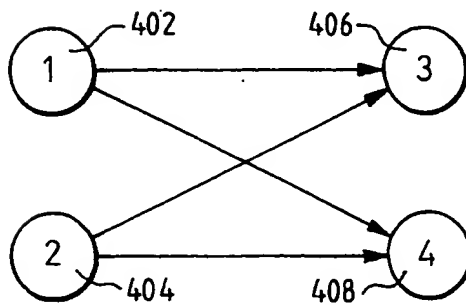


FIG.5

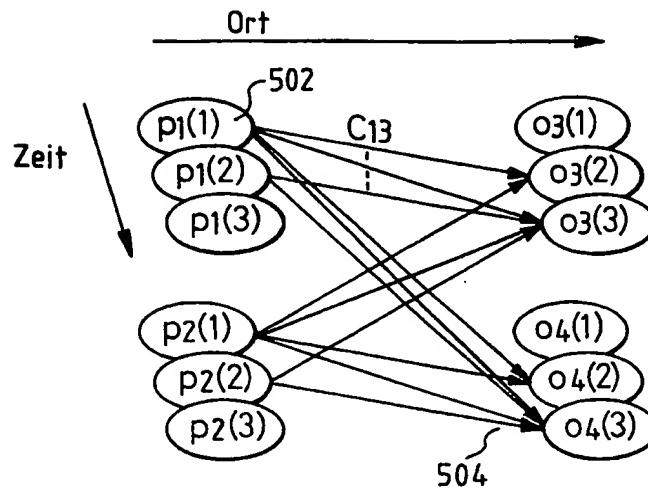


FIG.6

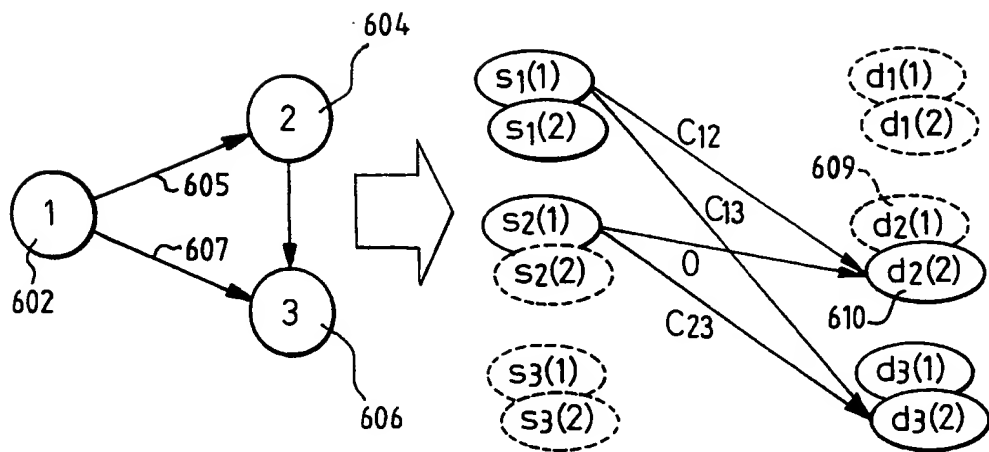


FIG.7

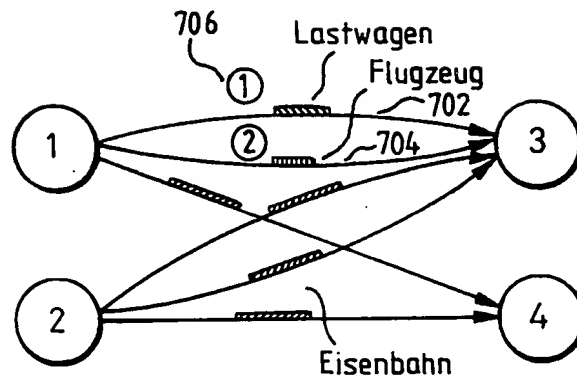


FIG.8

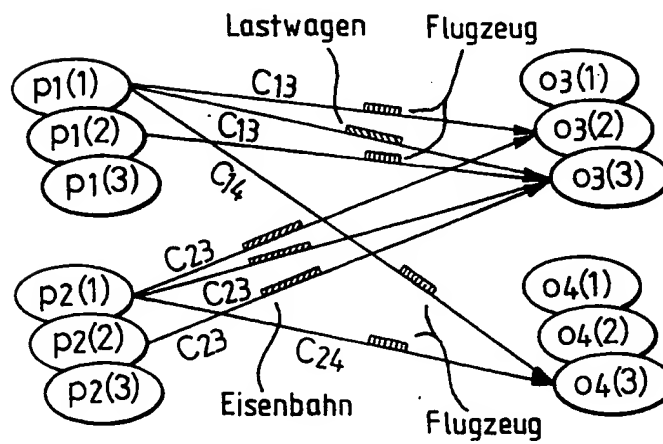


FIG.9

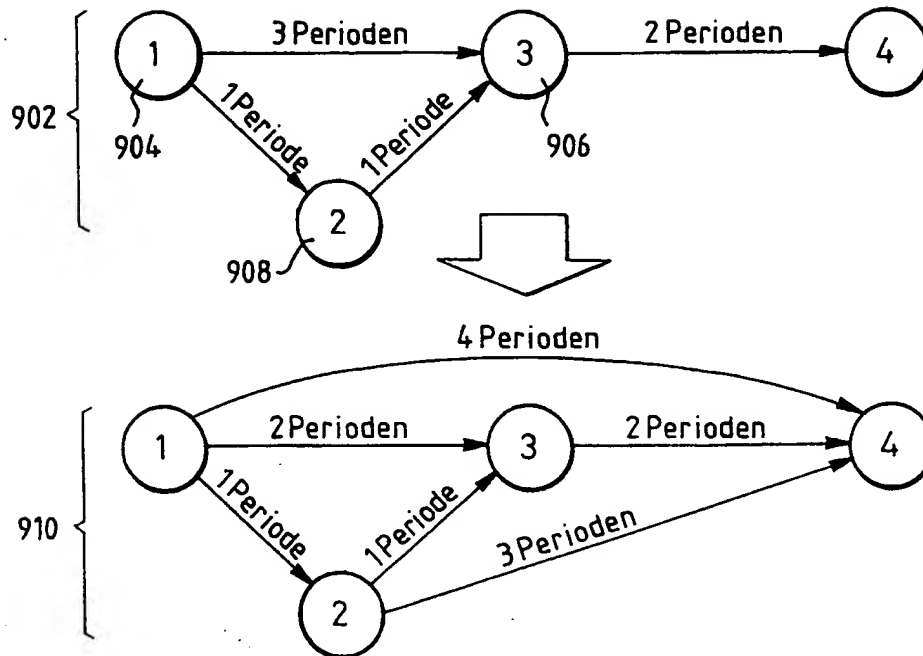


FIG.10

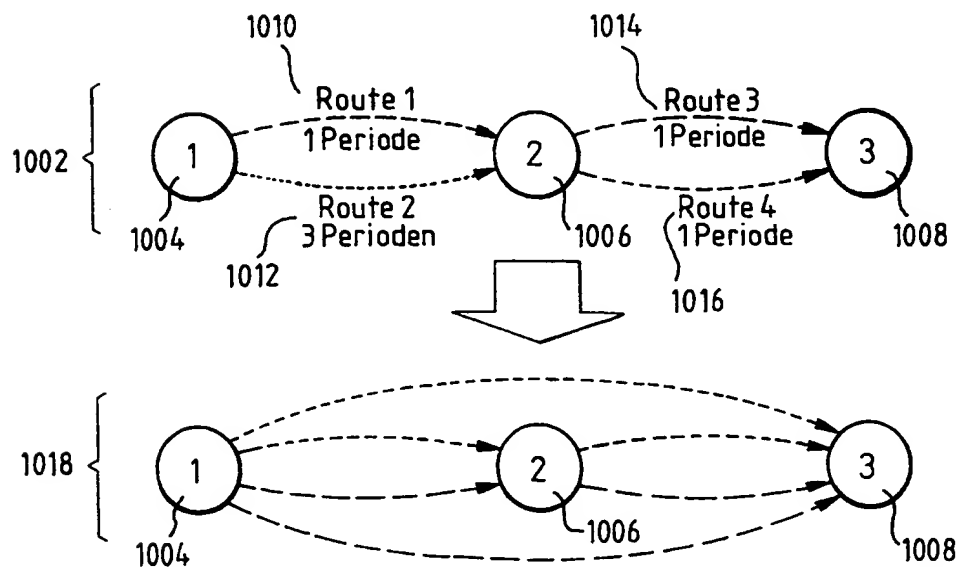


FIG.11

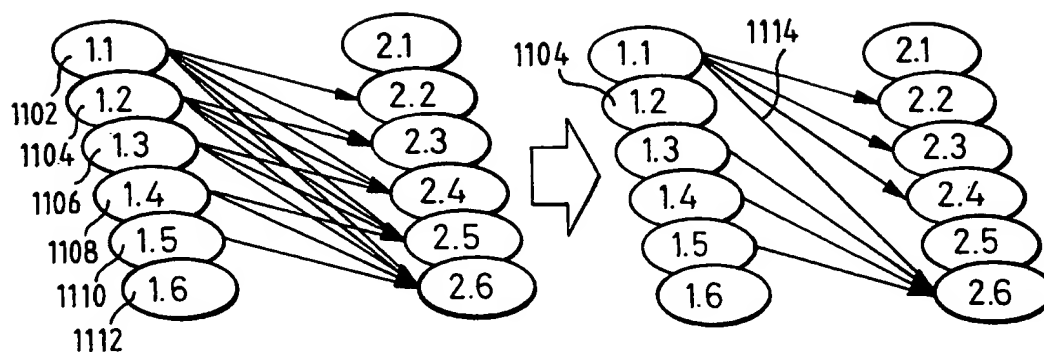


FIG.12

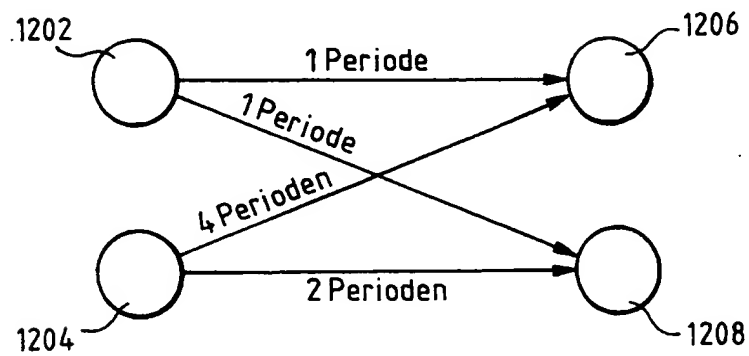


FIG.13

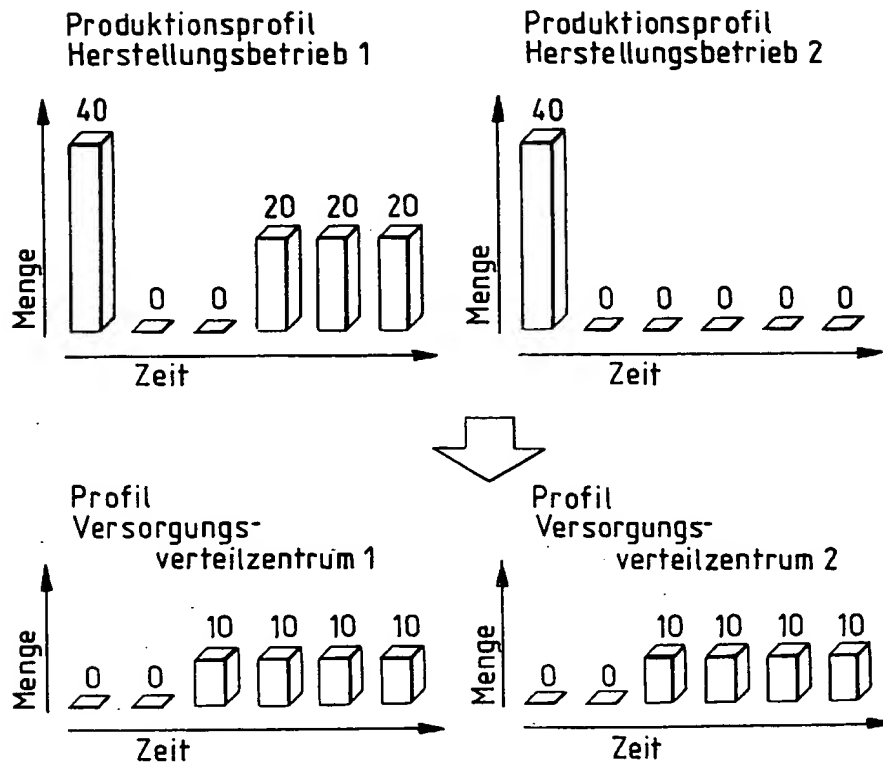


FIG.14

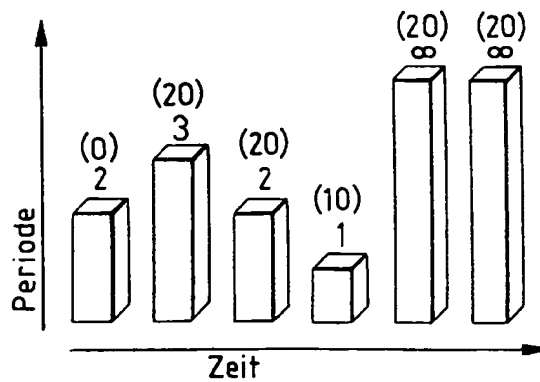


FIG.15

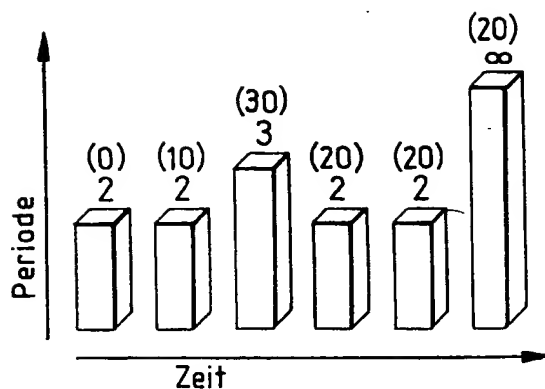


FIG.16

Periode	1	2	3	4	5	6
M.P.	30	10	10	10	20	0
D.C.1	0	0	10	10	10	10
D.C.2	0	0	10	10	10	10
1604~ZM	30 to DC1 0 to DC2	0 to DC1 10 to DC2	0 to DC1 10 to DC2	0 to DC1 10 to DC2	10 to DC1 10 to DC2	0 to DC1 0 to DC2
Z	15 to DC1 15 to DC2	5 to DC1 5 to DC2	5 to DC1 5 to DC2	5 to DC1 5 to DC2	10 to DC1 10 to DC2	0 to DC1 0 to DC2
1602~RM	1	1	1	1	1	∞
1606~R ^{IM}	2	1	1	1	1	∞
1608~R	2	2.5	2	1.5	1	∞

FIG.17

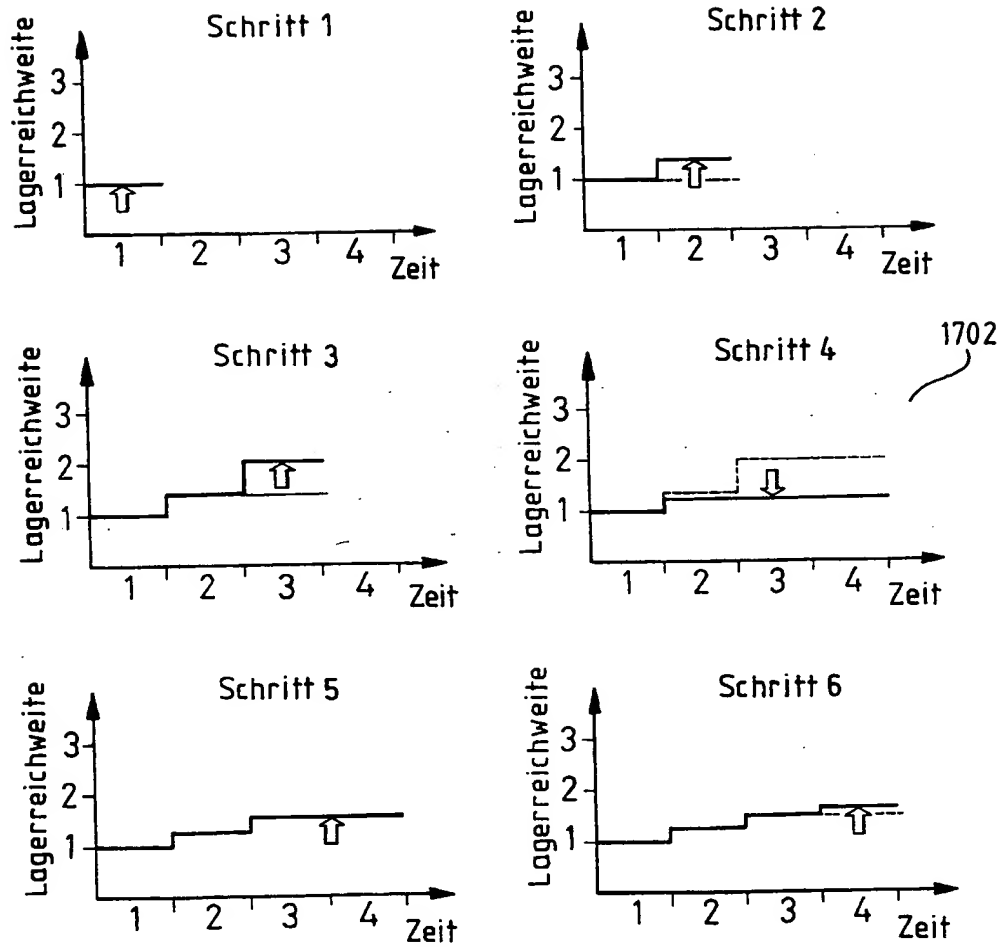


FIG.18

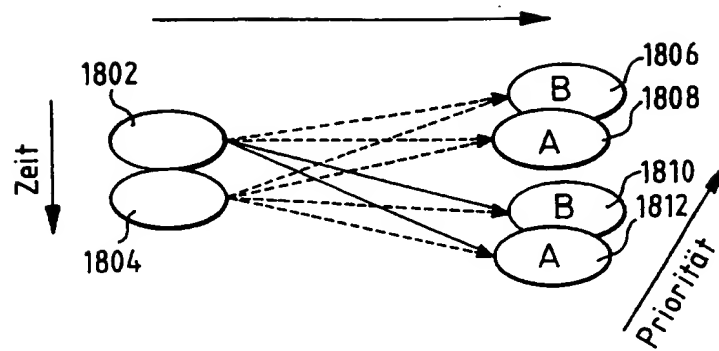
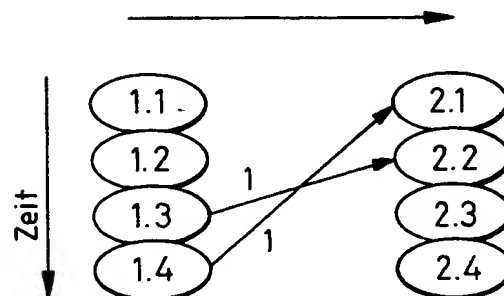


FIG.19



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 99/04229

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 G06F17/60

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 G06F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 196 12 652 C (PRIVATBRAUEREI UND MINERALBRUNNENBETRIEB HEINRICH EGERER) 6 March 1997 (1997-03-06) the whole document	1-4
P, A	US 5 797 113 A (KAMBE ET AL) 18 August 1998 (1998-08-18) the whole document	1-4
P, A	US 5 819 232 A (SHIPMAN) 6 October 1998 (1998-10-06) the whole document	1-4

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

20 October 1999

Date of mailing of the international search report

27/10/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Abram, R

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 99/04229

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19612652 C	06-03-1997	NONE	
US 5797113 A	18-08-1998	JP 8235263 A	13-09-1996
US 5819232 A	06-10-1998	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/04229

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 G06F17/60

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 G06F

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 196 12 652 C (PRIVATBRAUEREI UND MINERALBRUNNENBETRIEB HEINRICH EGERER) 6. März 1997 (1997-03-06) das ganze Dokument	1-4
P, A	US 5 797 113 A (KAMBE ET AL) 18. August 1998 (1998-08-18) das ganze Dokument	1-4
P, A	US 5 819 232 A (SHIPMAN) 6. Oktober 1998 (1998-10-06) das ganze Dokument	1-4



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

20. Oktober 1999

Abschließungsdatum des internationalen Recherchenberichts

27/10/1999

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Abram, R

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PL./EP 99/04229

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19612652 C	06-03-1997	KEINE	
US 5797113 A	18-08-1998	JP 8235263 A	13-09-1996
US 5819232 A	06-10-1998	KEINE	

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.